



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

PROPIEDADES TEXTURALES DE LA MASA Y LA TORTILLA ELABORADAS CON HARINA DE MAIZ NIXTAMALIZADO, EFECTO DE LA HUMEDAD DE LA MASA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERA EN ALIMENTOS PRESENTA: REYNA ROCIO SOLANO OLIVARES

ASESORA: I.B.Q. NORMA CASAS ALENCASER.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO. 2007.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



Departamento de
Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MORALES
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Propiedades texturales de la masa y la tortilla elaboradas
con harina de maíz nixtamalizado, efecto de la humedad de
la masa.

que presenta la pasante: Reyna Rocio Solano Olivares
con número de cuenta: 9008496-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 18 de Mayo de 2001

PRESIDENTE	<u>M. en C. Rosa M. Arriaga Orihuela</u>	
VOCAL	<u>I.B.Q. Norma Casas Alencaster</u>	
SECRETARIO	<u>I.A. Rosalía Meléndez Pérez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.A. Ma. Carmen Valderrama Bravo</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>I.O. Leticia Zúñiga Gómez</u>	

A Dios y a la Virgen que son luz de mi camino.

Mis abuelos **Victoria, Onesimo, Roberto, Pablo y María Luisa**, q.e.p.d.
tío **Tomás**, q.e.p.d.

mi pequeño ángel de la guarda **Monse**, q.e.p.d.
Gracias por confiar en mí y enseñarme que con la paciencia y el esfuerzo que uno se proponga lograra su meta, sé que están orgullosos, ya que son parte de este gran logro en mi vida y sobre todo porque de cada uno de ustedes aprendí a valorar las cosas por pequeñas que están sean.

A mis padres.

Lucila y Filiberto. En ustedes aprendí a no dejarme vencer por ninguna adversidad, a trabajar con honradez y brindar el apoyo y cariño a los demás sin esperar nada a cambio.

A mi abuela.

Beatriz. Te agradezco la paciencia y cariño que me brindas como madre, abuelita nunca estarás sola.

A mis hermanos.

Fermin, Dulce, Roberto, Beatriz y José. Cada uno es diferente, en su carácter y en su persona, pero saben el verlos crecer, compartir sus sueños y logros es una de las satisfacciones que deben valorar, no es difícil lograrlo, y nada es imposible, solo hay que levantarse con más fuerza y tenacidad.

Emmanuel y Moisés luz y alegría de la casa, **Georgina, Eduardo y Joel** por ser más parte de esta familia.

A mi asesor.

Norma Casas Alencaster gracias por apoyarme en la terminación de este trabajo, su tiempo y paciencia son invaluables.

A mis compañeros de la **17ava generación de Ing. Alimentos** más que su amistad es su cariño, preocupación, confianza, que me brindan durante todo este tiempo, y el seguir permitiéndome compartir con ustedes grandes y maravillosos momentos.

Jesús Aviña, Mónica Codina y Silvia Chavez. El ser jefe no solo es mandar, sino comprender, enseñar, ser paciente, dar confianza y sobre todo valorar a su gente y eso lo aprendí de ustedes. Gracias.

INDICE

INDICE GENERAL

Índice de Tablas
Índice de Figuras
Resumen
Introducción.

Capítulo 1.

Antecedentes.

Masa - Tortilla

1.1 El maíz	1
1.2 Historia del maíz	1
1.3 Composición del grano del maíz.....	3
1.4 Composición química del maíz.....	5
1.5 La tortilla	7
1.6 Nixtamalización y su importancia nutricional	9
1.7 Tecnología de la tortilla	14
1.7.1 Cambios físicos y químicos durante el proceso de nixtamalización	20
1.8 Aspecto social de la tortilla	22
1.9 Harina de maíz nixtamalizado	26
1.10 Uso de harina de nixtamal en la elaboración de la tortilla.....	27
1.11 Producción de harina de maíz nixtamalizado	28
1.11.1 Efecto de las condiciones de proceso en la harina de maíz nixtamalizado	31
1.12 Demanda y oferta de la harina nixtamalizada.....	33

Textura

1.13 Propiedades mecánicas de los alimentos	37
1.14 Textura	37
1.14.1 Métodos fundamentales	39
1.14.2 Métodos empíricos.....	40
1.14.3 Métodos químicos y microscópicos.....	41
1.14.4 Métodos sensoriales.....	42
1.15 Propiedades texturales	42
1.15.1 Características geométricas	44
1.16 Evaluación de la textura mediante técnicas instrumentales.....	46
1.16.1 Pruebas instrumentales puntuales	46
1.16.2 Pruebas instrumentales globales	50
1.17 Textura de masa y tortilla	56

Capítulo 2.

Materiales y Métodos

Objetivos	59
Cuadro Metodológico.....	60

Materiales: harina de maíz nixtamalizada.

Métodos

Objetivo 1

Actividad 2. Determinación de humedad de la harina	61
Actividad 3. Obtención de la masa a la humedad requerida en el Intervalo de (55, 56, 57, 58, 59 y 60%).	61

Actividad 4. Determinar propiedades texturales de la masa a diferentes humedades
(55, 56, 57, 58, 59, y 60)

a) Prueba de Análisis de Perfil de textura (TPA) en la masa	63
b) Prueba de Adhesividad en la masa	65
c) Prueba de Extrusión positiva en la masa	68
d) Prueba de Extrusión negativa en la masa	70
e) Prueba de Penetración en la masa	72

Objetivo 2

Actividad 3. Elaboración de las tortillas a las humedades del (55, 56, 57, 58, 59 y 60%).	74
--	----

Actividad 4. Determinar propiedades texturales de la tortilla a diferentes humedades
(55, 56, 57, 58, 59, y 60%)

a) Prueba de extensibilidad de tortilla	75
b) Prueba de punción en la tortilla	78
c) Prueba de corte en la tortilla	79

Capítulo 3

Resultados y discusión.

Objetivo 1

Actividad 2. y Actividad 3.....	82
Actividad 4. Determinar propiedades texturales de la masa a diferentes humedades (55, 56, 57, 58, 59, y 60%)	

a) Prueba del análisis de perfil de textura (TPA) en la masa	84
b) Prueba de adhesividad en la masa	89
c) Prueba de extrusión Positiva en la masa	92
d) Prueba de extrusión Negativa en la masa	96
e) Prueba de penetración en la masa para determinar esfuerzo de cedencia	100

Objetivo 2

Actividad 3. Elaboración de las tortillas a las humedades del (55, 56, 57, 58, 59 y 60%).	102
--	-----

**Actividad 4. Determinar propiedades texturales de la tortilla a diferentes humedades
(55, 56, 57, 58, 59, y 60%)**

a) Prueba de extensibilidad de tortilla	105
b) Prueba de punción en la tortilla.....	108
c) Prueba de corte en la tortilla.....	111

Objetivo 3

a) Correlaciones de propiedades texturales de masa	114
b) Correlaciones de propiedades masa - tortilla	118
a) Correlaciones de propiedades texturales de tortilla.....	120

Conclusiones	123
---------------------------	------------

Bibliografía

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de componentes del grano de maíz en sus partes anatómicas en base seca.....	5
Tabla 2. Contenido nutricional de alimentos seleccionados	8
Tabla 3. Contenido de principios nutritivos de Maíz y Nixtamal en base seca (Maíz amarillo)	10
Tabla 4. Características de variantes genéticas de maíz dentado.....	11
Tabla 5. Análisis Químicos de las harinas con dos variantes genéticas de maíz dentado.	11
Tabla 6. Estudio organoleptico de las tortillas elaboradas con con variantes genéticas de maíz dentado.....	12
Tabla 7. Composición del Maíz y algunos de sus productos.	14
Tabla 8. Condiciones de proceso para el tratamiento térmico.....	16
alcalino del maíz reportadas por algunos autores	
Tabla 9. Producción y venta de tortilla a nivel nacional	23
Tabla 10. Comparación del contenido nutricional de masa de harina de maíz nixtamalizado y masa de maíz nixtamalizado	27
Tabla 11. Norma del Gobierno Mexicano para la harina de maíz nixtamalizado.....	31
Tabla 12. Productos y ventas de molienda de nixtamal - harina de maíz	33
Tabla 13. Precios promedio de harina de maíz en tiendas de autoservicio de principales zonas metropolitanas	35
Tabla 14. Características mecánicas primarias de textura	44
Tabla 15. Características mecánicas secundarias de textura	44
Tabla 16. Características de textura de los alimentos	45
Tabla 17. Variación de % de humedad en la Harina de maíz	82
Tabla 18. Resultados de la prueba de TPA en masa a las humedades de 55, 56, 57, 58, 59 y 60 %.....	84
Tabla 19. Resultados de la prueba de adhesividad en masa a las humedades de 55, 56, 57, 58, 59 y 60 %.....	89
Tabla 20. Resultados de la prueba de extrusión positiva en masa a las humedades de 55, 56, 57, 58, 59 y 60 %	92
Tabla 21. Resultados de la prueba de extrusión negativa en masa a las humedades de 55, 56, 57, 58, 59 y 60 %	96
Tabla 22. Esfuerzo máximo de penetración en masa a diferentes humedades.....	100
Tabla 23. Comparación de pesos y dimensiones de tortilla cocida.....	104
Tabla 24. Resultados de la prueba de extensibilidad en tortilla a las humedades de 55, 56, 57, 58, 59 y 60 %	105
Tabla 25. Resultados de la prueba de punción en tortilla a las humedades de 55, 56, 57, 58, 59 y 60 %	108
Tabla 26. Resultados de la prueba de corte en tortilla a las humedades de 55, 56, 57, 58, 59 y 60 %	111

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Diagrama de sección longitudinal del grano del maíz.....	3
Fig. 2 Proceso tradicional de elaboración de la tortilla descrito por Gravioto.....	19
Fig. 3 Consumo a nivel nacional de maíz.....	24
Fig. 4 Proceso general para la producción de harina de maíz.....	29
Fig. 5 Comparación de consumo en toneladas de nixtamal y harina de maíz nixtamalizado.....	34
Fig. 6 Representación de la forma de aplicación de fuerza en métodos empíricos e imitativos.....	41
Fig. 7 Penetrómetro de cono.....	47
Fig. 8 Gráfica fuerza - distancia obtenida con la prueba de extrusión.....	50
Fig. 9 Gráfica del análisis de perfil de textura (TPA).....	55
Fig. 10 Cuadro Metodológico.....	60
Fig. 11 Gráfica de adhesividad.....	67
Fig. 12 Gráfica de extrusión positiva.....	69
Fig. 13 Gráfica de extrusión negativa.....	71
Fig. 14 Esquema del cono de la prueba de penetración.....	72
Fig. 15 Dispositivo de extensibilidad.....	76
Fig. 16 Gráfica de extensibilidad.....	77
Fig. 17 Gráfica de punción.....	79
Fig. 18 Juego de cuchillas.....	80
Fig. 19 Gráfica de corte.....	81
Fig. 20 Análisis de perfil de textura en masa, efecto de la humedad de la masa.....	86
Fig. 21 Prueba de adhesividad en masa efecto de la humedad de la masa.....	91
Fig. 22 Prueba de extrusión positiva, efecto de la humedad en la masa.....	94
Fig. 22a Prueba de extrusión positiva, efecto de la humedad en la masa.....	95
Fig. 23 Prueba de extrusión negativa, efecto de la humedad en la masa.....	98
Fig. 23a Prueba de extrusión negativa, efecto de la humedad en la masa.....	99
Fig. 24 Representación gráfica del esfuerzo máximo contra la velocidad de penetración de la masa a las diferentes humedades.....	101
Fig. 25 Representación de las dimensiones de la tortilla.....	103
Fig. 26 Prueba de extensibilidad en tortilla efecto de la humedad de la masa.....	107
Fig. 27 Prueba de punción en tortilla efecto de la humedad de la masa.....	110
Fig. 28 Prueba de corte en tortilla efecto de la humedad de la masa.....	113

Fig. 29	Correlación de la dureza de masa en función a los parámetros de la prueba de extrusión positiva de la masa.....	114
Fig. 30	Correlación de trabajo de adhesión de masa en función de los parámetros de la prueba de extrusión positiva de la masa	115
Fig. 31	Correlación de trabajo de cohesión de masa en función de los parámetros de la prueba de extrusión positiva de la masa	116
Fig. 32	Correlación de extensibilidad de la prueba de adhesividad de masa en función de los parámetros de la prueba de extrusión positiva de la masa	117
Fig. 33	Correlación de la extensibilidad y flexibilidad de la tortilla en función del trabajo de cohesión de masa.....	118
Fig. 34	Correlación de la resistencia y trabajo de punción de la tortilla en función del trabajo de cohesión de masa.....	119
Fig. 35	Correlación de parámetros de la prueba de corte de tortilla en función a la flexibilidad de la tortilla	121
Fig. 36	Correlación de parámetros de la prueba de punción de tortilla en función a la flexibilidad de la tortilla	121

Resumen

En el presente trabajo se analiza el efecto del contenido de humedad de la masa de harina de maíz nixtamalizado (Minsa) en las propiedades texturales de la masa y la tortilla.

En masa se efectuaron pruebas de análisis de perfil de textura (TPA), adhesividad, extrusión positiva y negativa y determinación del esfuerzo de cedencia por penetración. En tortilla, pruebas de extensibilidad, punción y corte. Las humedades de masa que se manejaron fueron 55, 56, 57, 58, 59 y 60%. Para las pruebas, se utilizaron un texturómetro Texture Analyser TAXT2 con celda de carga de 25 Kg. (TPA, adhesividad de masa, extensibilidad, punción y corte de tortilla) y LLOYD 500 (extrusión positiva y negativa en masa). La variación en el % de humedad en la masa influye en las propiedades texturales de la misma; al aumentar el contenido de humedad, disminuye la dureza aumenta la cohesividad y la masa es más manejable para la formación de la tortilla, oponiendo menor resistencia a la extrusión; la tortilla es más flexible, obteniéndose un producto más suave y manejable con facilidad al corte.

Existe una estrecha correlación entre propiedades de masa (trabajo de cohesión) y tortilla (resistencia y trabajo de punción) por mencionar algunas, que se ven influenciadas por el % de humedad.

Al variar la humedad de la masa, sus propiedades texturales se ven afectadas repercutiendo esto en el manejo de la misma para la elaboración de la tortilla y en las propiedades de ésta.

Introducción.

México es el único país del mundo donde la distribución de maíz procesado para consumo humano, además de constituir la base de su dieta, cuenta con establecimientos especializados como molinos de nixtamal y tortillerías.

La masa como la tortilla han trascendido la simple fabricación casera, primero y después, artesanal, para erigirse en actividad agroindustrial que involucra competencia tecnológica. Por una parte se ubica una industria moderna altamente tecnificada que está representada por la fabricación de la harina; este producto desplaza gradualmente a la molienda de nixtamal que es un proceso necesario para la obtención convencional de la tortilla. El 17 de julio de 1995, la revista *Time* publicó un anuncio del Grupo MASECA, el mayor productor de harina de maíz para elaboración masiva de tortillas: "Creador de la tecnología del maíz que logró el avance tecnológico más significativo de la historia, al innovar un proceso milenario. El mercado potencial es de 5 - 6 millones de ton, al año y 400,000 personas." MASECA cuenta con 19 plantas, MINSA con 6 y AGROINSA 2. En 1994 cubrían en conjunto 27% del mercado de tortilla, esto con respecto al crecimiento de las empresas harineras privadas.

La industria de la masa y tortilla, mancha un quinto del Producto Interno Bruto, con ventas anuales de aproximadamente 4000 millones de dólares (1994). Con respecto a lo económico la tortilla tradicional se vende actualmente a \$3.50 (Septiembre 2000) y las tortillas de harina de maíz nixtamalizado en \$ 4.00 o más en las tiendas de autoservicio. Las tortillas de harina de maíz tienen un color blanco, mientras que las de tortillería hechas

de nixtamal son amarillas. ¿Qué prefieren los consumidores? Estos tienen, desde hace mucho años, serías dudas sobre la calidad del maíz que se utiliza para elaborarlas en las tortillerías tradicionales, pues corren todo tipo de rumores sobre los ingredientes de la masa: desde que le añaden olotes, o los costales de papel en los que viene envasada la harina, o que el maíz es forrajero de segunda o tercera. A reserva de hacer estudios al respecto, la aceptación de la tortilla de harina de maíz difiere de acuerdo con los niveles socioeconómicos, tiempo de incorporación a la vida urbana, conocimiento de sabores alternativos, grado en que se encuentra cautiva la población para su abasto.

La producción de la tortilla en México ha ido evolucionando hasta un grado tal que ya no se contempla a este sector como artesanal, sino que presenta ya características eminentemente industriales. Por consiguiente, también el concepto mismo de la tortilla ha ido evolucionando con el fin de brindar una mayor comodidad y calidad a los consumidores.

La harina de maíz, no se expresaba en el consumo popular masivo sino hasta el momento en que aparecen maquinas tortilladoras tecnológicamente más sofisticadas, costosas y más adecuadas al procesamiento de esta materia prima. Pero su uso se justifica con una mayor ventaja ambiental, de almacenamiento, higiene y control de inventarios.

El uso industrializado y comercial de la harina de maíz nixtamalizado se inicia a mediados de este siglo y en los últimos 20 años se han generado un conjunto de nuevos procesos. La harina de maíz nixtamalizado es normalmente reconstituida con agua produciendo masa y transformandola en tortillas, chips y otras frituras. Para compensar la

variabilidad de funcionalidad de la harina y asegurar la calidad del producto se ajustan la proporción agua - harina y las condiciones de laminado, cocido o frefdo.

Nuestros variados antojitos se encuentran en cualquier rincón del país y las más de las veces no son sino caprichosas versiones que derivan de la tortilla. Por ello se ha dicho que dentro de nuestro contexto cultural comer tortillas es construir toda la comida alrededor de ella, pues envuelve, guarda, acomoda o disimula cualquier cantidad de ingredientes y se adapta maravillosamente a todo sabor: hay hasta quienes la degustan con cajeta. La tortilla puede evitar platos, cubiertos y productos para la limpieza, por lo que, naturalmente, hasta ecológica resulta.¹

Las tortillas son hechas a partir de masa de maíz preparada a través del proceso de nixtamalización. La textura de la masa es un punto crítico para el proceso de hacer tortillas. Cuando la masa tiene una textura apropiada, es adhesiva, se adhiere ligeramente a la superficie del molde y se desmolda fácilmente. Dos diferentes problemas comunes de textura ocurren:

- 1) Sobrecocimiento del maíz lo cual produce una masa pegajosa, que se adhiere fuertemente a los rollos o moldes, o
- 2) Bajo cocimiento del maíz que produce una masa no cohesiva inadecuada para la formación de la tortilla.²

El continuo aumento en el consumo de harina de maíz nixtamalizada para la elaboración de tortillas tanto a nivel de tortillería como para producción industrial, resalta la necesidad de generar información sobre los factores que influyen en las características físicas y texturales de la masa de harina de maíz y sus consecuencias en la tortilla.

Un factor importante en la calidad de la tortilla es la humedad de la masa ya que esto repercute en el comportamiento de la misma durante la elaboración de las tortillas y en sus propiedades texturales. De ahí la importancia de estudiar la **TEXTURA** de la masa y su influencia en la tortilla como producto final.

El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del porcentaje de humedad de la masa de harina de maíz nixtamalizado en las características de textura de la masa y tortilla por medio de pruebas instrumentales (análisis de perfil de textura, adhesividad, penetración, extrusión positiva y negativas en masa, corte, punción y extensibilidad en tortillas).

Capítulo 1

Antecedentes

1.1 El maíz.

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas, su nombre científico es Zea mays y es originario de América. Hablar de tortilla, remite de manera necesaria a hablar del maíz, el proceso de domesticación de esta gramínea se remonta a épocas remotas a lo largo de un período prolongado, durante el cual la planta sufrió muchos cambios morfológicos, entre 700 y 3000 A.C.; además, en el proceso se originaron distintas razas y variedades cuyo valor nutricional así como su preparación fueron diferentes.^{3,4}

1.2 Historia del maíz.

El cultivo de maíz tiene importancia especial, dado que este cereal constituye la base de la alimentación de los latinoamericanos. El maíz es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas, por eso se cultiva en casi todo el mundo.

Razones que hacen del maíz un cultivo popular son las siguientes:

- Su alto rendimiento por número de horas trabajadas.
- Contenido de nutrientes.
- Fácil transporte.
- La panca, o envoltura de hojas, protege los granos contra daños causados por pájaros y lluvias.
- Es fácil de cosechar.
- Uso en la alimentación humana y animal, como en la transformación industrial.

El maíz es una buena fuente de alimentación, pero su contenido de proteína es más bajo que el de otros cereales. Entre las clases de maíz, el amarillo es el más nutritivo, por su alto contenido de vitamina B. El maíz opaco tiene un alto contenido de lisina, que es un aminoácido esencial. El maíz tiene importancia en la alimentación animal, por sus granos enteros, molidos o quebrados, que son sumamente nutritivos.

El maíz desempeña un papel importante en la industria, ya que se procesa en gran número de productos y subproductos, como aceite, masa, tortillas, snacks, explosivos, almidones, maltodextrinas, emulsiones, jabones, glicerina, jarabes, productos medicinales y productos farmacéuticos.

La nixtamalización del maíz permitió que los granos fueran más fácilmente digestibles, dado el desprendimiento del pericarpio que los cubre y la liberación de niacina de fácil asimilación, además de posibilitarse su cocimiento más rápido al remojarse en agua con cal y hervirse. Se carece de evidencias claras acerca de la antigüedad de este procedimiento, salvo en el caso de Teotihuacán, donde se han encontrado cazuelas para preparar nixtamal que datan del siglo IV de la era cristiana.⁵

Entre sociedades sedentarias, con la nixtamalización se logró, de manera rápida y eficiente, suavizar los granos para su molienda y elaborar la masa, aprovechándolos después por periodos relativamente prolongados de almacenamiento a lo largo del año posterior a la o a las temporadas de cosecha. Asimismo, dado el uso de cal, sosa o lejía

en el proceso, son más digestibles los aminoácidos del maíz y se incrementa casi en siete veces el calcio, aumentando el valor nutricional de la gramínea así como la cantidad de calorías y carbohidratos que proporciona.⁵

1.3 Composición del grano de maíz.

El grano de maíz está constituido por tres partes principales, que son el pericarpio, endospermo y germen, como se puede observar en la fig.1.

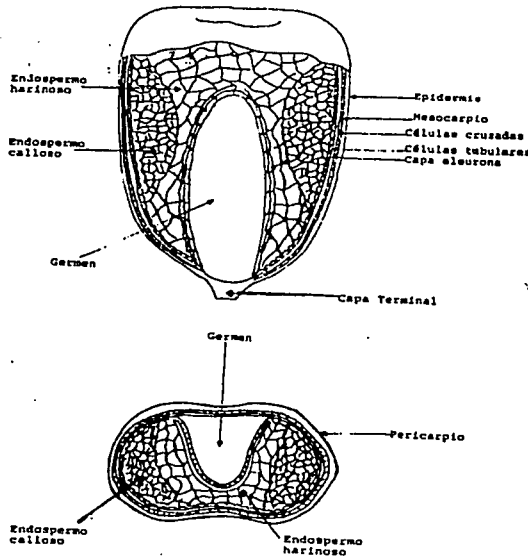


Fig.1 Diagrama de sección longitudinal del grano de maíz.⁶

Pericarpio.- Es la parte estructural más externa del grano. Constituye del 5 al 6%, y la cantidad de fibra en el grano es equivalente aproximadamente a la del pericarpio. El pericarpio puede ser separado en cuatro capas: epidermis, mesocarpio, células cruzadas y células tubulares. Una película delgada de cutícula, cubre la superficie de la epidermis. El valor histológico del pericarpio reside en que cuando se encuentra intacto da protección al grano contra la invasión de microorganismos y presenta características semipermeables con respecto a los solutos.⁶

Endospermo.- Se considera tejido de almacenamiento y esta constituido por dos partes: harinoso y corneo. Constituye del 86 al 89% del peso total del grano. La capa más externa del endospermo es la denominada **capa celular aleurona**. El endospermo corneo o calloso es llamado así porque es duro y translúcido. El endospermo harinoso es suave y relativamente opaco. El almidón es el componente predominante del maíz y se encuentra principalmente en el endospermo, la forma y tamaño de los gránulos de almidón varían según se encuentran en el endospermo. El endospermo harinoso que es de color claro, contiene granos de almidón sueltos con poca proteína y las del endospermo corneo tienen granos de almidón más pequeños y embebidos en material proteico.⁶

Germen.- El germen o embrión del maíz representa de 10 al 14% del grano. Se encuentra localizado en la parte baja del endospermo, justo en la parte baja del grano y paralelo al eje axial. Tiene un valor alimenticio elevado ya que proporciona proteínas,

carbohidratos y vitaminas, siendo proteínas de mayor calidad que las del endospermo. Contribuye con una mayor cantidad de tiamina y riboflavina, sin embargo la niacina se localiza en diferentes cantidades tanto en el germen como en el endospermo. ²

Aleurona.- Es una capa de células simples localizadas entre el endospermo y el pericarpio, ocupa alrededor del 2% en base seca del grano de maíz. Esta capa cubre completamente al endospermo y al germen, interrumpiéndose en la "capa terminal" localizada en la punta del maíz.⁷

1.4 Composición química del maíz.

La tabla 1 muestra la distribución de componentes del grano de maíz en cada una de sus partes y se explicara a continuación.

Tabla 1. Distribución de componentes del grano de maíz en sus partes anatómicas en base seca

Parte Anatómica	Almidón %	Grasa %	Proteínas %	Cenizas %	Azúcares %
Endospermo	98.1	15.4	73.8	17.9	28.90
Germen	1.5	82.6	26.2	78.4	69.3
Pericarpio	0.06	1.3	2.6	2.9	1.2
Punta	0.1	0.8	0.9	1.0	0.8

Fuente: Watson, Stanley. "Corn: Chemistry and Technology"⁷

Carbohidratos. El principal carbohidrato del maíz es el almidón, ya que contiene el 72% en base seca. La mayoría del almidón se encuentra en el endospermo. Los azúcares

importantes son principalmente sacarosa, glucosa y fructosa, en cantidades de 1-3%. El principal es la glucosa y la mayor parte se halla concentrada en el germen.

El almidón que se encuentra dentro del maíz está formado por gránulos redondos del endospermo harinoso y gránulos poliédricos del endospermo córneo. Los gránulos de almidón están compuestos por dos polímeros, la amilosa y amilopectina. La amilosa que se encuentra entre un 25-30% del almidón es una molécula lineal de glucosa unida con enlaces **alfa-(1-4)**. La amilopectina representa un 57 - 70% del almidón, es una molécula ramificada con enlaces **alfa-(1-6)** en los puntos de ramificación y **alfa-(1-4)** en la cadena lineal.^{7, 8}

Compuestos Nitrogenados. El maíz contiene 4 tipos de proteínas: albúminas, globulinas, glutelinas y prolaminas. La proteína dominante es la Zeína, que es una prolamina. La mayoría de las proteínas se encuentran en el endospermo. El maíz es un cereal de calidad pobre, debido a que generalmente es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y metionina.

Lípidos. El germen es el mayor depósito de lípidos. La mayoría de los lípidos son triglicéridos, los cuales al extraerse, dan el aceite de maíz.

Los triglicéridos se componen principalmente de 56% de ácido linoleico, 30% de oleico y en cantidades insignificantes los ácidos esteárico y palmítico. Además se encuentran

glucolípidos, esteroles, ácidos grasos libres, carotenoides (precursores de la vitamina A), tocoles (vitamina E) y ceras.

Vitaminas. El maíz contiene 2 vitaminas liposolubles, A (**beta-caroteno**) y E. La mayoría de las vitaminas (niacina, riboflavina y tiamina) encontradas en el maíz son hidrosolubles. El contenido de beta-caroteno es generalmente variable entre las diferentes variedades de maíz y se destruye generalmente por oxidación, junto con otros pigmentos carotenoides durante un almacenamiento prolongado. Las vitaminas se encuentran en el embrión y la capa exterior del endospermo.

Fibra. El pericarpio o cascarilla del grano está compuesto por aproximadamente 40% de celulosa y 40% de pentaglucano.

Minerales. El mineral más abundante del maíz es el fósforo (0.29%), y el azufre (0.14%) es el cuarto elemento más importante, también es una fuente importante de selenio, potasio, magnesio, cloro, calcio, sodio, yodo entre los más importantes.^{7,8}

1.5 La tortilla

Su origen se pierde en la más remota historia de nuestro territorio. La cultura náhuatl le llamaba **tlaxcalli**, que significa "cosa cocida". Siendo el centro de nuestra alimentación desde la época del imperio azteca, era usual incluso la confiscación del maíz a los comerciantes, en épocas difíciles para garantizar el abasto.

Actualmente la tortilla constituye la principal fuente de energía y proteína en la dieta rural y hasta hace pocos años la situación no era diferente en las dietas urbanas, siendo la base de la alimentación del mexicano; su consumo aumenta o disminuye de acuerdo al ingreso de la familia. Así se puede observar que en situaciones de crisis como la actual, el consumo se incrementa, pudiendo rebasar los 500g. por persona al día en promedio, y en muchos casos es el único alimento.⁹ En la tabla 2 se compara el contenido nutricional de tortilla con otros alimentos básicos.

Tabla 2. Contenido Nutricional de alimentos seleccionados.
(Por cada 100g. de alimento crudo en peso neto)

Alimento	Humedad %	Fibra %	Energía kcal	Proteínas %	Calcio Mg.
Tortilla de maíz amarillo	47.5	2.1	214	5.9	196
Pan blanco de trigo	25	1.9	292	8.4	39
Frijol bayo gordo	10.1	4	332	22.7	200
Arroz pulido	11.2	2	364	7.4	10

Fuente: El sector alimentario en México. INEGI (1996).¹⁰

En comparación con otros productos de cereales, el maíz aporta en menor proporción energía, pero al combinarse con otros alimentos dan una fuente de energía y compensa las deficiencias que tiene en ciertos nutrientes. Pero la precaria economía de la mayoría de mexicanos no alcanza a cubrir esos requerimientos limitándose a una realidad en su

consumo diario basado en el maíz y sus derivados, para un porcentaje alto de población se convierte en una dieta monótona basada en tortillas y frijoles que no proporciona los suficientes nutrientes para un buen desarrollo físico y mental. Lograr en poco tiempo y en forma radical un esfuerzo contundente en el abatimiento de la mala nutrición se puede obtener a través del reforzamiento de alimentos de consumo generalizado, como la tortilla.⁹

1.6 Nixtamalización y su importancia nutricional.

El método tradicional de procesamiento de maíz a tortilla usado en México y algunos países de América Central es conocido en México como " Nixtamalización " (palabra náhuatl derivado de nextli que significa cenizas ó cenizas de cal y tamalli que significa masa de maíz.)¹¹

Desde el punto de vista nutritivo ningún grano por sí solo proporciona todos los nutrientes que requerimos. En todas las culturas gastronómicas donde éstos forman parte de una dieta, se ha buscado superar las limitaciones para enriquecerla, poniendo en evidencia el principio de complementación de los alimentos para eliminar deficiencias y compensar propiedades. La nixtamalización tradicional consiste básicamente en agregar un puño de cal (aproximadamente 150g.) para dos cuartillos de maíz (2.5Kg. cada cuartillo) y ponerlo en agua caliente o darle una hervida. Dicho proceso hace posible la gelatinización de los almidones y elimina la fibra cruda del grano y la lignina, que es tóxica.¹ El efecto que sobre el maíz produce el calentamiento y la cocción es una mejora en sabor, digestibilidad y facilita la asimilación de ciertos nutrientes. Existe un aumento

de calcio en las tortillas como consecuencia del tratamiento del maíz con agua y cal. El aumento de calcio es de 2.01%, así como de fósforo y hierro.¹¹ En la tabla 3 se muestran los cambios en algunos nutrientes debidos al proceso de nixtamalización.

Tabla 3. Contenido de principios nutritivos de maíz y nixtamal en base seca.
(maíz amarillo)

Producto	% Nitrogeno	% Ceniza	% Calcio mgs	% Fósforo	% Hierro	% Niacina
Maíz	1.40	1.38	9	285	3.8	1.82
Nixtamal	1.36	1.69	220	330	3.9	1.47

Fuente: Gravioto, R.O. (1945)¹²

En el paso de maíz crudo a masa se pierden en promedio de un 14 a 17% de sólidos del maíz. Los cambios químicos incluyen la remoción durante el lavado con agua o destrucción por el tratamiento de los diferentes nutrientes; los cambios serán afectados por el tipo de maíz usado y así se reporta pérdida en maíz blanco de 60% de tiamina, 32% de niacina, así como 10% de nitrógeno, 44% de la proporción del extracto etéreo y 46% de la fibra cruda durante la elaboración, desde maíz hasta masa. En maíz amarillo ocurre un 65% de pérdida de tiamina, 32% de riboflavina, 31% de niacina y 21% de carotenos, 10% de nitrógeno y 32% de fibra cruda.¹¹

La mayor parte del maíz que se produce en México es dentado. Merino (1973) efectuó un estudio con maíz dentado y con dos variantes genéticas, opaco - 2 y modificado de la variedad Veracruz 181 gpo. 2, considerada como de alto rendimiento. El gen opaco - 2 se ha introducido en diferentes variedades de maíz logrando que estas tengan alto valor

nutritivo, este gen eleva el contenido de lisina y triptofano, y la modificación de la calidad de los almidones en el endospermo, estas propiedades se reflejan en las cualidades del maíz como se puede observar en la tabla No. 4 y en el producto elaborado.¹³

Tabla 4. Características de variantes genéticas de maíz dentado.

Muestra	Variedad	Procedencia	Tipo de Cultivo	Tipo de Maíz	Color
Opaco - 2	Ver. 181 Gpo.2	Poza Rica, Veracruz	de riego y fertilizado	amiláceo	crema opaco
Modificado	Ver. 181	Poza Rica, Veracruz	de riego y fertilizado	cristalino	amarillo - opaco
Normal	Ver. 181 Gpo.2	Poza Rica, Veracruz	de riego y fertilizado	cristalino	amarillo - opaco

Fuente: Merino M. M. Eugenia (1973).¹³

El estudio se realizó para mejorar la calidad de maíz dentado modificando las características nutricionales del mismo, para aumentar su aporte nutritivo y aceptación al consumidor como producto final. En las tablas 5 y 6 se muestran los resultados en cuanto al análisis de las harinas que se obtuvieron de las tres clases de maíz y el análisis organoléptico de las tortillas.

Tabla 5. Análisis químico de las harinas con dos variantes genéticas de maíz dentado (% referido a base húmeda).

Muestra	Humedad (%)	Proteína (%)	Fibra Cruda (%)	Cenizas (%)	Caloríe (mg/kg)
Opaco - 2	8	8.9	1.9	1.7	160
Opaco - 2 nixtamalizado	8	8.5	1.7	2.1	750
Modificado	7.5	10.3	2.1	1.6	130
Modificado nixtamalizado	6	9.7	1.9	1.9	720
Dentado normal	6.5	11.0	2.4	1.5	110
Dentado normal nixtamalizado	8	9.8	2.2	1.9	700

Fuente: Merino M. M. Eugenia (1973).¹³

Al comparar resultados en % de nutrientes, el maíz dentado normal presenta mayor cantidad de proteína en comparación con las otras dos variedades pero es deficiente en lisina y triptofano, la ventaja que ofrece el opaco - 2 es el aumento de glutelina que da como resultado mayor cantidad de lisina y lo hace más digerible. lo cual le da un valor nutricional más elevado.

Tabla 6. Estudio organoleptico de las tortillas elaboradas con variantes genéticas de maíz dentado.

Muestra Nixtamalizada	Color	Sabor	Textura
Opaco - 2	crema	desagradable	tortilla quebradiza, no permite ser doblada fácilmente
Modificado	crema	ligeramente desagradable	tortilla tiesa, se puede doblar
Normal	crema	agradable	tortilla suave, puede doblarse y permanecer suave por más tiempo.
Harina Minsa	crema	agradable	tortilla suave, puede doblarse
Masa comercial	crema	agradable	tortilla suave, puede doblarse.

Fuente: Merino M. M. Eugenia (1973).¹³

En el proceso de nixtamalización en el estudio de los tres tipos de maíz se observó lo siguiente:

- La temperatura mínima para efectuarse es de 70 °C, a menor temperatura el grano no se hidrata lo suficiente y queda duro, dando una masa granulosa sin la consistencia adecuada.
- La temperatura máxima es de 90 °C, a mayor temperatura el almidón del grano se gelatiniza, quedando demasiado suave, por lo que da una masa flácida y chiclosa que

no permite la elaboración de tortillas. El almidón es el que da la propiedad funcional a la masa.

- El tiempo de nixtamalización es distinto según el tipo de maíz que se trate; así tenemos que para maíces amiláceos el tiempo es menor que para maíces cristalinos, efectuando la nixtamalización a la misma temperatura.
- La masa de maíz opaco – 2 es muy blanda y no permite ser manejada fácilmente, se pega a la tortilladora manual. La masa de maíz modificado es más consistente y puede manejarse sin dificultad. La masa de maíz normal tiene la consistencia adecuada, comparable con la masa comercial y se maneja fácilmente. Las mejoras genéticas se hicieron pero los resultados en el producto final al ser evaluadas dieron que el aporte nutritivo se beneficia pero la aceptación del producto no fue buena.¹³

En general, la nixtamalización, del mismo modo que todos los procesos de refinación de granos, sacrifica cierta cantidad de nutrientes para mejorar la calidad y, de hecho, al hacer más asimilable al maíz, mejora el nivel nutritivo del grano.¹

La harina y las tortillas contienen casi todos los nutrimentos en mayor o menor cantidad al grano original **Tabla 7**. En cuanto a proteína, carbohidratos y cenizas. Sin embargo, esta última fracción (cenizas) pierde minerales por lixiviación y pericarpio, y por otra parte gana por absorción cantidades significativas de calcio durante la nixtamalización.

Tabla 7. Composición del maíz
y algunos de sus productos.

Alimento	Energía kcal	Humedad %	Proteína g	Grasa g	Chos g	Calcio g
Maíz*	361	10.6	9.4	4.3	74.4	9
Harina de maíz**	369	10.3	8.2	5.8	73.9	89
Masa de maíz/**	154	62.2	3.5	1.9	31.8	70
Tortilla de maíz****	210	47.5	4.6	1.8	45.3	196

Fuente: Tabla de composición de alimentos para Uso en América Latina. INCAP, Guatemala (1961).¹⁴

*Grano entero y seco, amarillo o blanco

**de maíz blanco tratado con cal

*** mezcla de maíz amarillo y blanco tratado con cal

**** mezcla de maíz blanco y amarillo tratado con cal.

Se puede observar que el maíz aporta energía a través de sus carbohidratos principalmente, su contenido de proteína y calcio son relativamente bajos. Por otra parte la tortilla, así como el harina y la masa de maíz aumentan su contenido de calcio enormemente bajo antes del proceso, gracias a la adición de cal.

1.7 Tecnología de la tortilla.

La producción de la tortilla de maíz consiste en tres operaciones básicas: nixtamalización, molienda y la manufactura de la tortilla a partir de la masa; la brevedad del tiempo en que la masa puede usarse antes de que sufra deterioro por microorganismos, propició el desarrollo de la industria de la harina nixtamalizada, que por las ventajas que presenta ha incrementado su consumo, y se ha innovado la tecnología de su producción.

La tortilla por su alta actividad de agua (0.96) es muy sensible al ataque de microorganismos (hongos, levaduras y bacterias), lo que aunado a un pH (6.5) y la contaminación debida a las pobres condiciones sanitarias bajo las que se elabora, reduce la vida de anaquel de este producto.

La preparación de la tortilla no sigue un patrón general en todos los países en donde es un alimento básico, y los estudios adicionales son requeridos para determinar la manera en la cual los diferentes métodos influyen en el valor nutritivo.¹⁵

Se han reportado diferentes condiciones para el proceso de nixtamalización en particular en lo referente al tiempo, temperatura de cocimiento y % de cal, así como una variedad de procesos (tradicionales, de laboratorio y experimentales).

Por lo anterior, es difícil hablar de condiciones específicas de proceso. En la tabla 8. Se resumen algunas de las condiciones de proceso reportadas.

Los datos implican que no hay una estandarización de las condiciones para la nixtamalización del maíz y que éstas varían dependiendo del lugar y tipo de maíz.

Tabla 8. Condiciones de proceso para el tratamiento térmico alcalino del maíz reportadas por algunos autores.

Autor (País)	Condiciones de proceso	Referencia
Bressani .1958 (Guatemala)	1 parte de maíz 1.2 partes de solución 0.5% de cal. calentar 94 °C por 50 min. reposar 14 hrs.	2
Gravioto. 1945 (México)	1 parte de maíz 2 partes de solución 1% de cal calentar a 80 °C de 20 a 45 min. reposar aproximadamente 10 hrs.	12
Del Valle.1974 (México)	1 parte de maíz 1 parte de solución 1.4 % a 2% de cal calentar a 100 °C por 50 min. reposar 10 hrs.	15a
Ramírez. 1993 (USA)	1 parte de maíz Solución de cal al 1.0% calentar 100 °C por 55 min. reposar 14 hrs.	15b
Martínez- Figueroa.1996 (USA)	1 parte de maíz solución de cal 1- 2% tiempo de cocción 40 a 55 min. reposar 12 a 18hrs.	15c

En la figura 2 se muestra el proceso de elaboración de tortilla descrito por Gravioto y se explicará a continuación cada etapa:

Limpieza. Su objetivo es dejar la materia prima libre de impurezas y se realiza en base a las propiedades físicas del grano; por ejemplo: peso específico, densidad, etc.

Cocción. El maíz se combina con una dosis de cal entre 1- 3.5% y agua 1:2 con relación al peso del grano, y se calienta 20-45 min. a 80°C. El cocimiento alcalino imparte sabor, gelatiniza el almidón y remueve parcialmente el pericarpio y germen del maíz. El grano de maíz se cuece parcialmente.¹²

A la vez que el cocimiento alcalino contribuye a que la humedad se incremente en el grano y modifique los componentes estructurales, el **Remojado** es necesario para facilitar la distribución agua - cal dentro del grano, completando la **degradación** de las células, produciendo un hinchamiento de la matriz de la proteína y la liberación de los componentes de la célula durante la molienda.¹⁶

Tres son los factores importantes que deben considerarse en esta etapa: **la temperatura, la cantidad de agua y la concentración de cal.**

En el primer caso no debe elevarse **la temperatura** a más de 80°C del almidón de maíz), ni mucho menos llegar a la ebullición del agua, ya que **resultaría una masa pegajosa**, debido a la gelatinización parcial o total del almidón contenido en el grano obteniendo una masa impropia para la elaboración de tortillas.

La cantidad de agua a usarse tiene que ser proporcional a la cantidad de maíz. Esta proporción va de 1.2 a 3 partes de agua. La concentración de cal empleada es de (1.0 - 3.5% del peso de maíz).

Un exceso provoca una masa amarilla y de sabor alcalino; mientras que una concentración menor a la necesaria causa que la masa sea falta de elasticidad o poco adhesiva, lo cual dificulta la elaboración de la tortilla. ¹⁷

Remojo. La mezcla se deja en reposo de 10- 16 hrs. tiempo durante el cual se distribuye la humedad y la cal en todo el grano de maíz.

Lavado. Esta etapa inicia con una decantación del maíz cocido y remojado (nixtamal) seguida de un lavado con agua. En la decantación se extrae el nejayote (caldo de ceniza) que consiste en 2.8% de sólidos, del cuál 1.68% son solubles y 0.812% en cenizas. Se elimina el exceso alcalino y el tejido de pericarpio desprendido, así como parte del germen.

Molienda. El nixtamal se muele en molinos de piedra volcánica en forma de rodillo, ahí ocurre el rompimiento físico de la estructura del grano del cereal. Segmentos de germen, restos de pericarpio y endospermos son retenidos envolviéndolos en un gel de almidón.²

Moldeo. La masa se lamina en forma de discos delgados de 15cm. o menos de diámetro y 3mm de espesor, con el fin de darle forma a la tortilla.

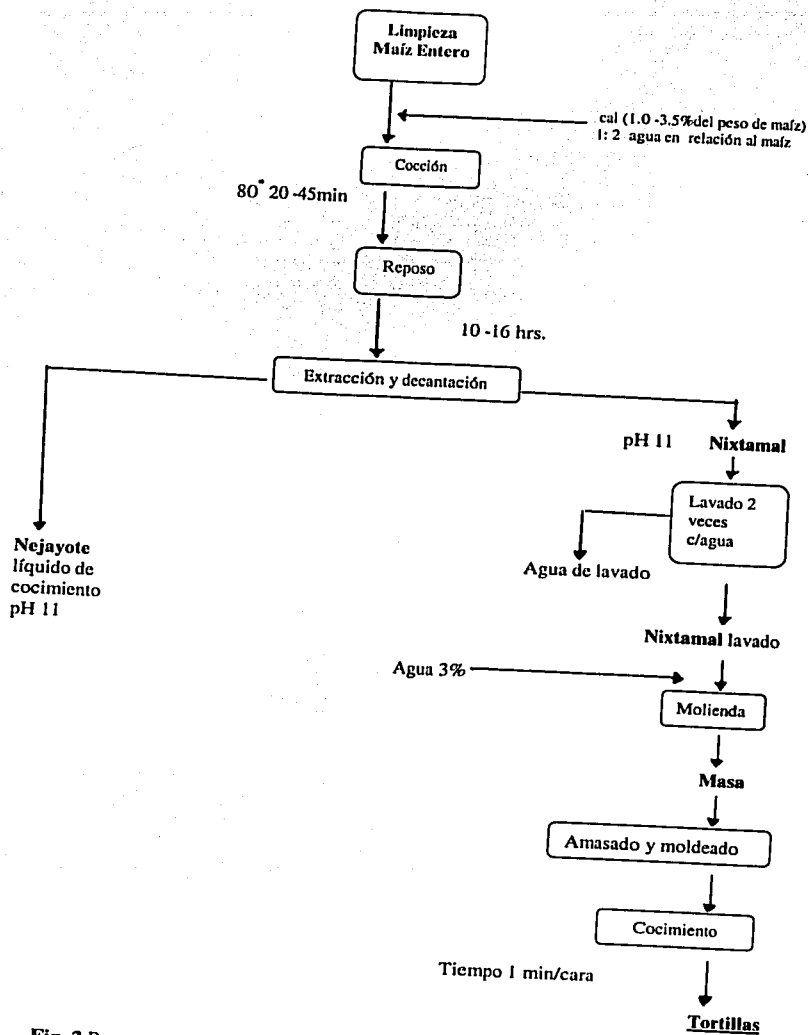


Fig. 2 Proceso tradicional de elaboración de la tortilla descrito por Gravioto.¹²

Cocimiento. La masa moldeada se cuece, por un total de 1 min. por cada cara, más un tercer tiempo hasta la formación de la ampolla en la primera cara para formar la tortilla. Al final del cocimiento la tortilla se hincha de una de las caras, fenómeno conocido como "panza o ampolla". La formación de la ampolla se debe a la presión que ejerce el vapor generado durante el cocimiento. ²

1.7.1 Cambios físicos y químicos durante el proceso de nixtamalización.

El cocinado y remojado del maíz causa cambios importantes que incluyen: absorción de calcio y agua, degradación y solubilización de la pared celular y otros constituyentes químicos, consecuentemente pérdida de materia prima; cambios en solubilización de proteínas, hinchazón y gelatinización parcial de gránulos de almidón.

Muchos de los cambios que toman lugar durante la nixtamalización son promovidos por el cocimiento alcalino (pH 11-13), el tratamiento térmico de éste y el contenido de calcio de la solución.

Durante la nixtamalización el endospermo del maíz se modifica debido a que algunos gránulos de almidón se hinchan o gelatinizan, mientras que la matriz proteica se hidrata. Al interior del maíz algunas áreas no están completamente cocidas.

La cocción ocurre primero en el pericarpio, germen y endospermo suave y después se mueve al endospermo vítreo. El álcali solubiliza y debilita parcialmente al pericarpio

con lo que hay una eliminación total o parcial de este durante el lavado. El pericarpio comúnmente se rompe del área de cruce de las células tubulares. Las células de alcurona permanecen intactas en la mayoría de los granos y juntas al endospermo feculento. La membrana y las células de las paredes son parcialmente degradadas y solubilizadas.

El cocimiento correcto de los granos de maíz consiste en una gelatinización parcial e hinchamiento de los gránulos de almidón, así como la hidratación de la matriz proteica para producir la masa en la molienda.¹⁷

El granulo de almidón está compuesto de moléculas de amilosa y amilopectina asociadas por puentes de hidrógeno, formando una red micelar tridimensional a través de la participación de segmentos de moléculas individuales que unen varias áreas micelares. En estas condiciones el almidón presenta una capacidad de solubilización en agua fría limitada, dependiendo de la disposición natural de sus moléculas. Si la temperatura del agua de cocción se eleva, los puentes de hidrógeno se debilitan e inician su rompimiento, liberando grupos hidroxilo, con lo cual se permite una absorción adicional de agua. Las moléculas de amilosa hidratadas totalmente se separan de la intrincada red micelar y se difunden al medio circundante. Un tratamiento térmico severo rompe la mayor parte de los puentes de hidrógeno, lo cual permite una hidratación mucho mayor que provoca un hinchamiento irreversible de los gránulos de almidón. Esta modificación en la estructura de los gránulos se conoce como gelatinización. El rompimiento de la estructura granular coincide con el lavado de las

moléculas de amilosa de bajo peso molecular de los gránulos hinchados hacia el medio que los rodea. Aunque los gránulos de almidón son retenidos en la matriz proteica y pared celular, ellos absorben agua y se hinchan durante el cocinado y remojado. La susceptibilidad del almidón a la hidrólisis por glucoamilasa incrementa en el maíz con el cocimiento alcalino. La superficie gelatinizada causa que los gránulos individuales se junten. Existe durante la nixtamalización una desnaturalización de las proteínas en especial de las glutelinas, que hacen que sean digeribles y forman una matriz proteica de soporte de los gránulos de almidón.^{7,17}

En la molienda, los componentes del grano se rompen al estar preacondicionados por la cocción y el remojo; la masa la forman pedazos de germen, el remanente de pericarpio y partículas de endospermo que se mantienen juntas como mezcla unida con pegamento con gránulos de almidón "hinchados" y "hojas" de matriz proteica, además de lípidos emulsificados lo que da la cohesión y permite la formación de la masa.⁷

La característica única del maíz nixtamalizado es el desarrollo de la masa, con formas de partículas finas y toscas. El rendimiento de la fracción fina de la masa incrementa en el proceso de remojo. Las fracciones finas contribuyen para la formación de la película estructural y reduce el inflado durante el homeado y freído.¹⁸

1.8 Aspecto social de la tortilla.

En el cumplimiento de la importante tarea de garantizar el abasto de productos básicos para la población más desprotegida, la tortilla desempeña un papel predominante. La

importancia del maíz en la dieta del mexicano obligó al gobierno a garantizar formalmente su abasto a la población desde mediados de los años 60. Así en 1965 se dio vida a la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO), que tenía la misión de abastecer a la población de este importante producto básico.

La política de precios y subsidios al consumo de tortilla se puede apreciar en la **tabla 9** donde se ve la producción que alcanza como producto básico de consumo al utilizar nixtamal y harina de maíz, y el % de ventas que generan así como el valor en pesos que arroja al año. Dando como conclusión que la producción y venta de las tortillas de maíz directas de nixtamal, sobrepasa en mucho a las hechas con harina. Esto se debe en gran parte a que el consumidor prefiere las tortillas tradicionales, frescas, calientitas, de sabor dulzón, y a que el precio de adquisición es menor que el de las hechas con harina de maíz.

Tabla. 9 Producción y ventas de tortilla a nivel nacional.

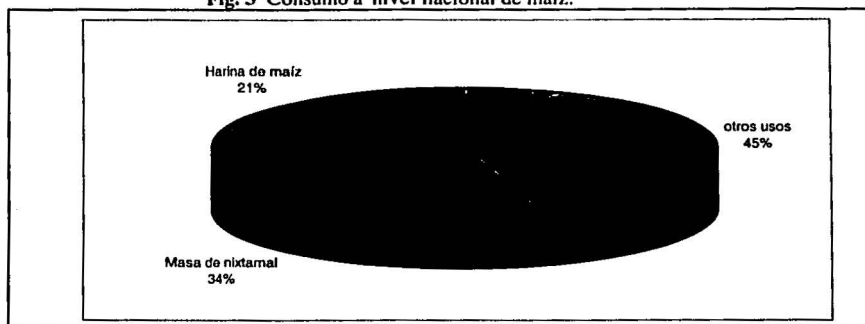
Productos	Producción Cantidad Ton	Valor Pesos	Ventas Cantidad Ton	Valor Pesos
Tortillas de masa fresca	73, 798	85, 056	75, 606	86, 965
Tortillas de masa de harina de maíz	662	2, 594	612	2, 664

Fuente: Censo Industrial. INEGI. (1994).¹⁹

Del maíz, por tipo de uso, se estima que el consumo de tortilla es del orden de 12.3 millones de toneladas, de los cuales una parte aún importante (45%) es de autoconsumo, el restante (55%) se divide en (34%) producida por las tortillerías que usan masa de nixtamal fresco y el (21 %) es de masa de harina de maíz.²⁰

Se observa esta distribución del consumo de maíz Nacional en la Figura 3.

Fig. 3 Consumo a nivel nacional de maíz.



Fuente: Censo Industrial. INEGI. (1994).¹⁹

Un ejemplo de modernización e innovación en una industria de bienes de consumo es la elaboración de harina de maíz nixtamalizada. Debe señalarse que ninguna modernización será completa si no se mejoran las condiciones de trabajo a la par que se establezcan prácticas racionales en la higiene, el mejoramiento ecológico, el abasto de maíz y la administración.²¹

La importancia del papel de las empresas que fabrican harina de maíz nixtamalizada, ha crecido por la profundización del mercado de la tortilla en las últimas décadas. En 1980, el 20% de la producción se realizaba tomando como materia prima a este insumo. En la actualidad se calcula que un 34% de la tortilla producida en México tiene como insumo básico la harina de maíz nixtamalizada de los cuales el 25% lo acapara MASECA seguida en pequeñas proporciones por AGROINSA Y HAMASA. Cabe destacar también la incorporación del grupo BIMBO en el mercado de la tortilla empacada. Otro actor al que cabe hacer mención es Maíz Industrializado, S.A. (Minsa) que se deriva de Maíz Industrializado CONASUPO (Miconsa). Esta empresa dejó de ser un actor estatal en la regulación de la industria de harina de maíz, para convertirse en un actor social más en la búsqueda del promisorio mercado de la tortilla.

El desarrollo de estas industrias está marcando una tendencia a la sustitución de la tortilla fabricada con masa de nixtamal fresca. Este proceso se debe, en gran medida, no sólo a los subsidios, sino a la innovación tecnológica, a la aceptación de los consumidores, obligada muchas veces por las necesidades del mercado de trabajo y a la creciente incorporación de la mujer al trabajo. Las nuevas cadenas de producción de tortilla parecen apuntar hacia una integración de productores, proveedores financieros, técnicos y capacitores en un entramado capitalista del que no pueden alejarse los molineros.

La tortilla de harina de maíz nixtamalizado tiene conservadores y la masa de buen maíz molido en condiciones higiénicas se conserva varios días. Otra área muy discutida es la

nutrición, donde cada grupo (los molineros y fabricantes de harina) dan las ventajas comparativas de su producto. La Secofi, en un estudio sobre la biodisponibilidad de nutrientes en tortillas de harina de maíz nixtamalizado no detalla las ventajas, en comparación con las de masa fresca que es la principal fuente de calcio para un amplio sector de la población y ya se han señalado fuentes de deficiencia de calcio y contenido de fibra en las tortillas de harina de maíz.^{21, 22}

1.9 Harina de maíz nixtamalizado.

La **harina de maíz nixtamalizado** según la NMX- F - 046 - 1980 es el producto que se obtiene de la molienda de los granos de maíz (*Zea mays*) sanos, limpios, previamente nixtamalizados y deshidratados. Debe de cumplir con ciertas características de color, aspecto, químicas y microbiológicas.²³ La harina de maíz nixtamalizado es normalmente reconstituída con agua produciendo masa y procesada en forma de tortillas, chips y otras frituras. Para compensar la variabilidad de funcionalidad de la harina y asegurar la calidad del producto se ajustan la proporción agua - harina y las condiciones de laminado, cocido o freído. En México se emplea casi exclusivamente el maíz blanco para fabricar la harina para tortillas. La razón de esto es que el gusto general del país favorece a este tipo de grano, se supone que mientras más blancas son las tortillas es mejor su calidad. El maíz amarillo es usado esporádicamente por la industria harinera, cuando el maíz blanco es escaso, en tales situaciones el maíz amarillo es mezclado para obtener un color intermedio.¹¹

1.10 Uso de harina de nixtamal en la elaboración de la tortilla

Se considera que la industria tradicional, cuyos métodos datan de la primera mitad de siglo, es incapaz de satisfacer la demanda de la población. Ante este hecho, la gran industria de la harina de maíz y la venta de tortilla empacada se han desarrollado como alternativas a los métodos tradicionales. Se dice que hay ventajas de rendimiento en el uso de harina de maíz nixtamalizado para tortillas a nivel mecánico con respecto al uso de masa derivado del método tradicional, principalmente porque evita mermas presentadas en la industria molinera común. El ahorro obtenido del proceso de industrialización de harina como sustituto de la masa de nixtamal sería del 17-18%.

El contenido nutricional como se ve en la siguiente tabla favorece a la masa de maíz nixtamalizado en lo que se refiere a proteínas.¹⁹

Tabla 10. Comparación del contenido nutricional de masa de harina de maíz nixtamalizado y masa de maíz nixtamalizado.

Alimento	Porción Comestible	Humedad %	Fibra g	Energía kcal	Proteínas g	Calcio mg
Masa de harina nixtamalizada	100	62	3.8	150.8	2.84	56
Masa de maíz nixtamalizado (Blanco)	100	62.2	3.4	154	3.5	70

Fuente: Censo Industrial. INEGI.(1994)¹⁹

En la tabla 10 se hace un comparativo del aporte nutricional que da una ventaja a la masa de maíz nixtamalizado contra la masa de harina de maíz nixtamalizado donde se

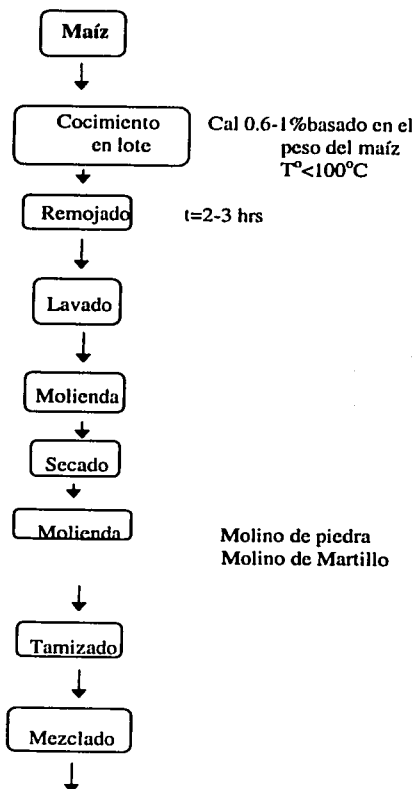
observa que la cantidad de calcio es mayor en la primera así como en el contenido de proteína. Las ventajas que presenta el uso de harina de maíz nixtamalizado sobre el método tradicional en la producción masiva de tortillas son:

1. La conversión relativamente fácil de harina a tortilla, control de calidad mayor tanto de la harina como de la tortilla, disminución de la contaminación microbiana en el manejo de la masa lo que permite que se obtenga un producto higiénico ya que la elaboración de tortilla de nixtamal es insalubre, lo que implica un mayor tiempo de almacenamiento.
2. Menor contaminación ambiental al producir la harina para la elaboración de la tortilla, menos afluentes. Una industria generadora de empleos.
4. El rendimiento de harina a tortilla es de 2.25 kg de tortilla por 1kg. de harina de maíz nixtamalizado.

1.11 Producción de harina de maíz nixtamalizado.

La tecnología común de manufactura es la versión mecanizada del proceso tradicional de nixtamalización y éste básicamente implica maíz cocido en cal, luego reposado, lavado, molido, secado, molido para convertirse en harina. Se han generado un conjunto de nuevos desarrollos de procesos para harina de maíz nixtamalizada, que en general se pueden clasificar en proceso tradicional, proceso de compresión y proceso de extrusión. En la actualidad los dos últimos procesos se han descartado en la producción de esta harina para tortilla, debido a sus efectos de dextrinización y bajas características maquinables en tortilladoras, así como baja calidad en las tortillas en cuanto a color,

textura y sabor, además de su alto costo.^{8, 24} En la figura 4 se esquematiza el proceso para la obtención de harina de maíz nixtamalizado por el método tradicional.



HARINA DE MASA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO
Fig. 4 Proceso general para la producción de harina de maíz.²⁴

El maíz es **cocinado y remojado** en agua con cal por el método tradicional cocinado en una operación continua más intensiva. El cocimiento continuo es generalmente hecho por rociado del maíz con una solución de cal, antes de esto se coloca en un transporte adaptado para cocinar por medio de vapor.

Lavado para remover los fragmentos disueltos de pericarpio; el maíz cocinado pasa a la **Molienda** ya sea en un molino de piedra o martillo.

Secado. Es hecho rápidamente, usando el método de fluidización. En un método comercial, partículas pequeñas de masa se dejan caer dentro de una torre con una corriente ascendente de aire caliente, cuando están suficientemente secas, las partículas son removidas del flujo de aire y colectadas. Esta etapa es la más crítica del proceso ya que se debe de trabajar por debajo de la temperatura de gelatinización del almidón, el cocimiento adicional y la gelatinización del almidón pueden también ocurrir en esta fase de secado.

Segunda Molienda. El material seco es molido por medio de un molino de martillos y las partículas son separadas por tamaño y por tamizado, mezclando estas fracciones en adecuada proporción se produce la harina de maíz. Las partículas demasiado grandes son remolidas.¹⁸

La harina de maíz para tortillas es un polvo fino, de color blanco o blanco-amarillento, con un olor característico de masa de maíz. Este polvo mezclado con agua produce una

masa adecuada para hacer tortillas, tamales, atoles. La harina de maíz hecha en México debe ajustarse a la norma mexicana de calidad F - 046- 1980 "Harina de maíz nixtamalizada" de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. La Tabla No. 11 muestra las características de la harina.¹⁵

Tabla 11. Norma del gobierno mexicano para la harina de maíz nixtamalizada.

Especificaciones Químicas	
Humedad máxima	11% (al envasar)
Cenizas	1.5%
Proteínas mínimas	8%
Fibra cruda máxima	2%
Lignina	5%
Especificaciones Físicas	
1) Las tortillas deberán resistir la prueba del doblado, no deberán formar grietas.	
2) La finura de la harina será tal que el 75 como mínimo pasará a través de malla No.60 (abertura de 250 micrones)	

Fuente: Munguía M. C.(1972)¹⁵

1.11.1 Efecto de las condiciones de proceso en la harina de maíz nixtamalizado.

Las propiedades de la harina de maíz nixtamalizado varían dependiendo de la variedad natural y calidad del maíz (efecto cosecha) usado como materia prima, diferencias en el tipo y tecnología manufacturera así como variaciones en las condiciones de proceso entre tecnologías. Sus propiedades se ven afectadas por la cantidad de agua absorbida y la pérdida de la materia seca del maíz durante el proceso de remojo en una solución

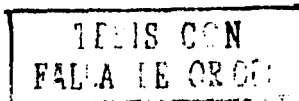
alcalina. El tiempo de remojo conveniente durante el proceso de nixtamalización es esencial en la producción de masa con las propiedades reológicas deseables, (suavidad, plasticidad y cohesividad.) y características típicas del producto final (hinchado y tostado). Gómez (1994) observó que masas subcocidas son secas y no cohesivas, y masas sobrecocidas son húmedas y pegajosas.¹⁸

Las características del maíz como forma, densidad y dureza de la semilla tienen efectos significativos en el cocimiento alcalino. Varias patentes y tecnologías experimentales (cocimiento alcalino continuo, cocimiento por extrusión, secado en tambor, cocimiento infrarrojo, al vapor y cocimiento bajo a alta velocidad) toman estas características como un punto de control en sus procesos de elaboración de harina de maíz nixtamalizado con el fin de mantener la consistencia en la harina la cual preserva la mayoría de los atributos del cocimiento alcalino tradicional de la masa y tortilla como producto final.²¹ La gelatinización y retrogradación del almidón que ocurren durante el procesamiento del maíz pueden ser controlados a fin de mantener la funcionalidad de la harina con respecto al tipo de tratamiento que se le va a dar al maíz; el % de humedad de la harina, método de conservación, se ven reflejados en las propiedades texturales de la masa las cuales a su vez determinan las características de la tortilla.¹⁴

Si comparamos las tortillas de masa de nixtamal y tortillas de harina de maíz nixtamalizado dan las siguientes características:

Tortillas elaboradas con masa de nixtamal

- Tortillas duras y resistentes



- Alto % de calcio 196 mg.
- Coloración amarillenta
- Sabor dulzón
- Tortillas elaboradas con **harina de maíz nixtamalizado**
- Tortillas blandas y menos resistentes
- Coloración blanca
- No presenta sabor dulzón.¹⁸

1.12 Demanda y oferta de la harina de maíz nixtamalizado.

La oferta del sector, destaca que la producción de tortillas se encuentra en un claro proceso de evolución, donde se sustituye la elaborada en casa, principalmente en las zonas rurales, por una creciente producción en tortillerías que están eliminando la masa fabricada en molinos de nixtamal por la harina de nixtamal.

En la tabla 12 se muestra la producción y ventas de masa de nixtamal y harina de maíz.

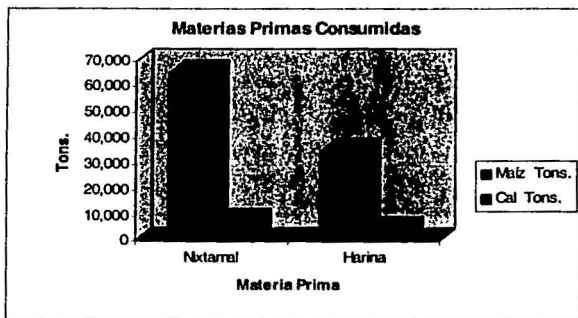
Tabla 12. Producción y ventas de molienda de nixtamal - harina de maíz

Producto	Producción		Ventas a nivel nacional	
	Cantidad (miles TON)	Valor (miles Pesos)	Cantidad (miles TON)	Valor (miles Pesos)
Molienda de nixtamal masa	2.7	1.98	2.72	2.05
Harina de Maíz	15.76	19.93	15.24	18.98

Fuente: Censo Industrial. INEGI (1994).¹⁹

El consumo de harina de maíz va en aumento considerablemente ya que hay un ahorro de tiempo y las ventajas que ofrece en su elaboración para las tortillas y la adaptación de su uso en las tortillerías así como su uso variado en otros alimentos como frituras, snacks, sazónadores, adobos. Al elegir la harina de maíz nixtamalizado sobre la molienda de nixtamal para obtener la masa no se ve afectado el consumo de las materias primas y auxiliares consumidas para su elaboración sino al contrario se ve un aumento en el consumo del maíz, como se puede apreciar en la figura 5.

Fig. 5 Comparación de consumo en toneladas de nixtamal y harina de maíz nixtamalizada.



Fuente: Censo Industrial. INEGI (1994).¹⁹

A pesar de que la tecnología de la harina de maíz y las nuevas máquinas tortilladoras no son significativamente diferentes frente al principio técnico que había consolidado la industria tradicional, en términos de satisfacer adecuadamente el abasto de tortillas, ni

las propuestas recientes se traducen en una mejor atención al cliente en eficiencia y calidad, la novedad es que, por su adaptabilidad a las tendencias modernas de comercio, presentan las condiciones adecuadas para su monopolización como negocio.²⁵

El Grupo MASECA, es el mayor productor de harina de maíz para elaboración masiva de tortillas. El mercado potencial es de 5-6 millones de toneladas de harina / año y 400000 personas como mano de obra. MASECA cuenta con 19 plantas, MINSA con 6 y AGROINSA con 2. En 1994 cubrían en conjunto el 27% del mercado de la tortilla.

Subsidios estatales a la industria harinera y la imposición al consumo de la harina, implican una reestructuración de políticas ubicadas en varios planos: desde el precio de garantía del maíz y los subsidios a la producción y comercialización del grano, hasta el precio de la tortilla y en consecuencia en la fijación del precio de la harina en el mercado se ve controlado por el mayor productor de harina así como de la zona en la cual se va a vender como podemos ver en la **Tabla 13**.

Tabla. 13 Precios promedios de harina de maíz en tiendas de autoservicio de principales zonas metropolitanas.

Producto	Presentación	Ciudad de México	Guadalajara Jal.	Monterrey N.L.	Puebla Pue.
		\$	\$	\$	\$
Harina de maíz MASECA	Paquete 1Kg.	4.05	4.02	3.98	4.59
Harina de maíz MINSA	Paquete 1Kg.	3.57	3.44	3.43	3.49

Fuente: El sector alimentario en México. INEGI (1996).²⁶

Las dependencias gubernamentales involucradas en el conflicto han favorecido directamente a los harineros. Primero SECOFI otorgó permiso para sustituir masa tradicional por harina; después CONASUPO benefició a los harineros al subsidiar la adquisición de toda su materia prima.¹⁰

Textura en alimentos.

1.13 Propiedades mecánicas de los alimentos.

La reología es una rama de proceder físico que trata con fuerzas y deformaciones y sus relaciones e interrelaciones. La medición de las propiedades mecánica de los alimentos, cubre todos los aspectos básicos de la ciencia de la reología.²⁷

Cuando de alimento se trata, la evaluación de las propiedades mecánicas es determinante en todo el proceso de producción desde la recepción de materia prima hasta producto terminado y análisis de cada etapa; el tecnólogo o ingeniero, aplican de alguna manera, pruebas reológicas y de textura.

En lo referente al desarrollo de nuevos productos, las propiedades mecánicas toman creciente importancia, pues el consumidor al tener a su alcance cada vez más variedad de productos y mas competencia en el mercado, se vuelve más exigente al juzgar la calidad de los alimentos y toma más en cuenta los aspecto de textura, mismos que el investigador debe cuidar para ofrecer al consumidor nuevas y mejores opciones para este atributo. En la aceptación de los alimentos por parte del consumidor, las propiedades mecánicas, junto con la apariencia y el sabor son determinantes. ²⁷

1.14 Textura

Es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del **tacto**, la **vista** y el **oído**, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación. La

textura no puede ser percibida si el alimento no ha sido deformado, el tacto nos dará esa información, al mismo tiempo la vista percibirá la deformación y podrá darnos una noción de sus atributos de textura. La textura es combinación de efectos físicos y propiedades químicas, que determinan la disposición o manera que la unión de estas partículas componen el material. Las propiedades de textura, por lo tanto, son propiedades mecánicas.^{28, 29}

La textura de los alimentos se halla principalmente determinada por el contenido en agua y grasa y por los tipos y proporciones relativas de algunas proteínas y carbohidratos. Los cambios en la textura están producidos por la pérdida de agua o grasa, la formación o rotura de las emulsiones, la hidrólisis de los carbohidratos poliméricos y la coagulación o hidrólisis de las proteínas.²⁷

La textura de un alimento depende, en parte, del observador, el efecto que percibimos o a veces medimos indirectamente, de los elementos estructurales presentes en los alimentos, cuando los sometemos a deformaciones mecánicas. El consumidor condiciona la aceptación o rechazo de un alimento a la textura.²⁹

La textura es la manifestación de una combinación de propiedades físicas y químicas, que incluyen la forma, tamaño, número, naturaleza y disposición de los elementos estructurales constituyentes.³⁰

Para la evaluación de la textura existe un gran número de instrumentos que se basan en la deformación de una muestra. Se clasifican en tres categorías:

- Métodos fundamentales.
- Métodos empíricos.

Otros métodos son:

- Químicos y microscópicos: no se basan en deformación del material.
- Sensoriales : no utilizan instrumentos.

1.14.1 Métodos fundamentales.

Son aquéllos en los que se trata de definir lo más exactamente posible el comportamiento reológico del alimento, establecer las ecuaciones que rigen dicho comportamiento y medir los parámetros y coeficientes involucrados en dichas ecuaciones. El comportamiento reológico del alimento puede ser descrito matemáticamente y relacionarse con características sensoriales.

Dichos métodos son sumamente detallados, pero su aplicación en casos de control de calidad, control de procesos y de cualquier tipo de situación en la que se requiera una toma rápida de decisiones basada en un resultado de una determinación física no es muy eficiente. Algunas características de los métodos fundamentales son:

- Ocasionan cambios mínimos en la estructura del material.
- Los resultados son expresados en unidades derivadas de LONGITUD, MASA Y TIEMPO, no dependen del método, solo del material.^{27, 31, 32}

1.14.2 Métodos Empíricos.

Las pruebas empíricas son de tipo destructivas aunque también pueden ser de tipo no destructivas mientras que las fundamentales casi siempre dejan intacto el alimento; se aplica un esfuerzo de cualquier tipo ya sea de compresión, corte, punción, extrusión, flexión y tensión, y se mide la respuesta del alimento: por ejemplo, su disminución o aumento de longitud, el tiempo que tarda en recuperar su forma o tamaño original después de la deformación, la fuerza requerida para la ruptura, etc., y esto se hace de forma completamente empírica. Por lo tanto en ocasiones no están claros los principios teóricos de los métodos, y la interpretación de los resultados es, empírica en su totalidad.²⁷

A pesar de esto último, la aplicación de los métodos empíricos en situaciones de control de calidad de productos y control de procesos es muy buena y suelen tomar menos tiempo que las fundamentales.

En los métodos empíricos e imitativos la fuerza puede aplicarse en una amplia variedad de formas, como penetración, cizalla, compresión, extrusión, corte, flujo, mezcla de los anteriores. Un aspecto importante de todas estas pruebas es que el patrón de fuerzas establecido dentro de la muestra de prueba es difícil de analizar y por lo tanto no es posible expresar los resultados en unidades fundamentales. Para asegurar que cualquier trabajo experimental es reproducible, es necesario citar el tamaño de la sonda o punta de prueba y de la muestra, la temperatura de la muestra, la velocidad de la sonda, junto con los propios resultados experimentales.³⁰

En la figura 6 se muestran algunas formas de aplicación de fuerza en algunos métodos empíricos e imitativos.

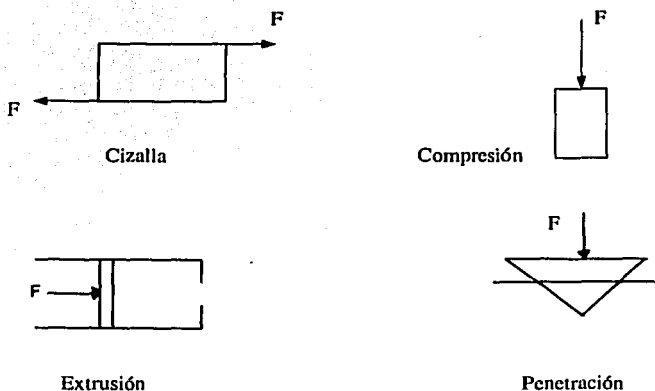


Fig. 6 Representación de la forma de aplicación de fuerza en métodos Empíricos e Imitativos.³⁰

1.14.3 Métodos químicos y microscópicos

Además de los métodos reológicos, algunos métodos químicos son útiles para evaluar la textura, en particular para frutas y hortalizas. Aparecen cambios bioquímicos mientras las frutas y hortalizas crecen y durante el subsiguiente almacenamiento, muchos de los cuales tienen un efecto directo sobre la textura.

La medición del cambio de algún componente durante, el desarrollo y la maduración (almidón o pectina) puede relacionarse con la textura.

1.14.4 Métodos sensoriales

La evaluación sensorial es una disciplina científica para medir, analizar e interpretar reacciones de las características de los alimentos y materiales tales como son percibidos por los sentidos de la vista, el gusto, el olfato, tacto y oído. Se dividen en dos grupos: las analíticas utilizadas para determinar la existencia de diferencias o la intensidad de algún o varios atributos específicos, las afectivas utilizadas para determinar la aceptación, preferencia o nivel de agrado de diversos productos.³⁰

1.15 Propiedades texturales

Las características de textura se pueden agrupar en tres clases principales:

- Mecánicas
- Geométricas
- Físicoquímicas

Las **características mecánicas** se manifiestan como la reacción de los alimentos cuando son sometidos a esfuerzos. Las **características geométricas** se refieren al arreglo de los constituyentes del alimento, y se reflejan principalmente en la apariencia del producto.

Las **características físicoquímicas** se refiere a la composición de un alimento es decir su contenido en humedad, grasa, proteínas etc.

Características mecánicas. Son las más importantes para determinar cuando se va a preparar y consumir un alimento. Estas características se dividen en 5 parámetros básicos:

Dureza como la fuerza necesaria para producir una deformación dada.

Cohesividad como la fuerza interna que ejercen las ligaduras internas del alimento.

Viscosidad como la resistencia que pone un alimento a fluir.

Elasticidad como la capacidad que tiene un alimento para ser deformado cuando se le aplica una fuerza y regresar a su estado normal, cuando la fuerza se deja de aplicar.

Adhesividad como el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie del material que se encuentra en contacto con este (ejemplo. dientes, lengua, paladar, etc.).

Las cuatro primeras características están relacionadas con las fuerzas de atracción que actúan entre las partículas del alimento y la resistencia a desintegrarse, y la adhesividad se relaciona con las propiedades de superficie. La medición de las características mecánicas de textura puede efectuarse tanto cuantitativamente como cualitativamente.³³

Estas características mecánicas dan una indicación del comportamiento mecánico del alimento ante la deformación, y pueden, a su vez dividirse en primarios y secundarios. Los primarios son los que se correlacionan con una propiedad mecánica tal como fuerza, deformación o energía, mientras que los secundarios son los que resultan de la combinación de propiedades primarias.^{13, 14}

En las tablas 14 y 15 se darán unas definiciones de esta propiedades de textura según Larmond (1976).³⁴

Tabla 14. Características mecánicas primarias de textura .

Características	Definiciones
Dureza	Física. Fuerza necesaria para una deformación dada. Sensorial. Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas (sólidos) o entre la lengua y el paladar (semisólidos).
Cohesividad	Física. Que tanto puede deformarse un material antes de romperse. Sensorial. Grado hasta el que se comprime una sustancia entre los dientes antes de romperse.
Viscosidad	Física. Tasa de flujo por unidad de fuerza. Sensorial. Fuerza requerida para pasar un líquido de una cuchara hacia la lengua.
Elasticidad	Física. Tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante. Sensorial. Grado hasta el cual regresa un producto a su forma original una vez que ha sido comprimido entre los dientes.
Adhesividad	Física. Trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto. Sensorial. Fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente al paladar) durante su consumo.

Fuente: Larmond (1976).³⁴

Tabla 15. Características mecánicas secundarias.

Características	Definiciones
Fracturabilidad	Física. Fuerza con la cual se fractura un material (alto grado de dureza y bajo de cohesividad). Sensorial. Fuerza con la que un material se desmorona, cruje o se estrella.
Masticabilidad.	Física. Energía requerida para masticar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido (una combinación de dureza, cohesividad y elasticidad). Sensorial. Tiempo requerido para masticar a una tasa constante de aplicación, para reducirla a una consistencia adecuada para tragarla.
Gomosidad	Física. Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado adecuado para deglutirlo (Combinación de baja dureza y alta cohesividad). Sensorial. Densidad que persiste a lo largo de la masticación; energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado adecuado para tragarlo.

Fuente: Larmond (1976).³⁴

1.15.1 Características Geométricas.

Se tienen dos grupos o cualidades: aquellas que se relacionan con el tamaño y forma de partícula, y las que se relacionan con la forma y orientación de la partícula. Algunas

características del primer grupo pueden dar escala de dureza; mientras que algunas características se refieren a la homogeneidad de un alimento, otras se pueden aplicar a un sistema de varias fases y estas se pueden evaluar de forma cualitativa y semicualitativa.³⁵

En la **tabla 16** presenta algunos características de textura de los alimentos y los términos empleados para referirse a éstas.

Tabla 16. Características de textura de los alimentos.

Características primarias	Características secundarias	Calificativos normalmente empleados
Características mecánicas		
Dureza		blando - firme- duro
Cohesividad	quebradizo	desmenuzable, crujiente, quebradizo
	mmadurabilidad gomoso	blando, masticable, correoso. harinoso, pastoso, gomoso
Viscosidad		fluido y viscoso.
Elasticidad		plástico, elástico.
Adhesividad		pegajoso, pegadizo
Características geométricas		
Tamaño y forma de partícula		arenoso, granujiento.
Tamaño y orientación de las partículas		fibroso, celular, cristalino.
Otras Características.		
Contenido en agua		seco - húmedo - mojado
Contenido graso	sceitosis	sceitoso
	grasosidad	grasiento

Fuente. Cheftel J.M (1983).³⁶

1.16. Evaluación de la textura mediante técnicas instrumentales.

La medición instrumental de la textura fue propuesta como una alternativa a la evaluación sensorial con el fin de superar los principales inconvenientes y limitaciones de ésta última: la gran **variabilidad** que puede existir en los resultados, la **dificultad en la ejecución** de las pruebas debido a los naturales problemas que se presentan al trabajar con humanos, a lo laborioso de algunas pruebas y las peculiaridades de la interpretación de los resultados.³⁰

1.16.1 PRUEBAS INSTRUMENTALES PUNTUALES.- Son aquellas que miden solo una propiedad textural, a continuación se mencionaran algunas de éstas:

Prueba de penetración.

El penetrómetro es un dispositivo razonablemente sencillo para medir la distancia a la que un cono o varilla penetra en un alimento en un tiempo determinado. En su forma más simple el cono C está colocado sobre la superficie S del alimento y se descarga durante un tiempo determinado. Fig. 7. Al final de dicho tiempo, la sonda se fija mediante una mordaza CI y se mide la profundidad de penetración sobre una escala graduada D.

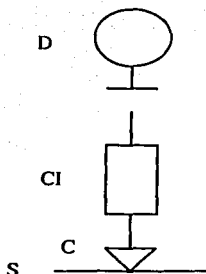


Fig. 7 Penetrómetro de cono.³⁰

La profundidad de penetración dependerá del peso del cono y del ángulo, el tipo de material, su temperatura y el tiempo de penetración. Se obtiene la fuerza aplicada para penetrar, la resistencia que opone el material a ser penetrado. Esta prueba es adecuada para materiales sólidos y semisólidos (plásticos). Ej. panes, caramelo suave, grasas y masa.³⁰

La masa es un producto plástico (no fluye bajo cualquier esfuerzo aplicado). El esfuerzo de cedencia de estos productos (esfuerzo mínimo bajo el cual fluye) puede ser calculado por medio de pruebas de penetración, como describen Tanaka et al (1971).

El método consiste en efectuar pruebas de penetración con un cono, a diferentes velocidades. Si se considera la masa como un material viscoplástico, a cualquier profundidad de penetración el esfuerzo en el cono es igual a la suma de la deformación plástica y viscosa.

$$\tau = F/A = \eta_{app} (dh/dt) + \tau_0 \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

τ .- Esfuerzo

η_{app} .- Velocidad aparente

τ_0 .- Esfuerzo de cedencia

Si se gráfica el esfuerzo a cierta profundidad de penetración contra la velocidad de penetración, se obtiene una línea recta cuya pendiente es la velocidad aparente y la ordenada al origen el esfuerzo inicial. El esfuerzo se obtiene de la siguiente manera:

$$\tau = F/A \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

τ .- Esfuerzo

F.- Fuerza medida a la distancia de penetración

A.- Area del cono que penetra la muestra.³⁷

Prueba de extrusión.

En la **extrusión positiva**, se determina la fuerza necesaria para extruir un material a través de un orificio pequeño o un anillo. Un elemento del equipamiento desarrollado por Prentice (1954) diseñado para la extrusión, es el extractor FIRA- NIRD. Una muestra del material en estudio es forzada a pasar a través de un orificio.

Extrusión negativa. Una prueba simple para medir textura en algunos alimentos es colocar una muestra de alimento dentro de un vaso de aluminio o caja sin tapa y comprimir este con un dispositivo ajustado al texturometro hasta que el alimento fluya hacia arriba a través del espacio entre el dispositivo y pared del vaso o caja.

Esta puede ser descrita como la " Prueba de extrusión hacia atrás o reversible." ³⁰

La Figura 8 muestra el comportamiento de la extrusión negativa. En la cual de A a B la muestra es deformada y comprimida en el recipiente, se presenta en este momento en el punto B una pequeña ruptura de la muestra. Al aproximarse al punto B la presión ejercida por el dispositivo hace que el alimento fluya hacia las paredes del recipiente y éste ejerce una fuerza de oposición.

La velocidad incrementa de B a C con la presión ejercida que hace que el alimento encuentre salida. En el punto C la fuerza es suficiente para la ruptura de la muestra y esto hace que la muestra fluya por el espacio entre el dispositivo y el recipiente (vaso o caja). ³⁷

En los dos tipos de extrusión se obtienen: trabajo de extrusión (área bajo la curva), fuerza máxima y resistencia a la extrusión. Ejemplos en los que se aplican: frutas, verduras, pastas, grasas (mantequilla, margarina, manteca vegetal) etc.

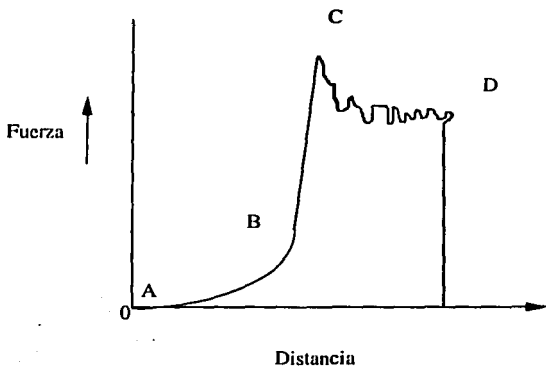


Fig. 8 Gráfica fuerza - distancia obtenida con la prueba de extrusión.³⁷

1.16.2 PRUEBAS INSTRUMENTALES GLOBALES. Son aquellas que evalúan un conjunto de propiedades, la más común es el análisis de perfil de textura (TPA).

EL PERFIL DE TEXTURA.

El perfil de textura es definido como la descripción de las características texturales percibidas en los productos alimenticios, la intensidad de cada uno y el orden en el cual ellos son percibidos.³⁷

Perfil de textura sensorial.

El perfil de textura es descrito por Brandt et al (1963) como el análisis organoleptico de la textura completo de un alimento en términos de sus características, mecánicas,

geométricas, grasa y humedad, el grado presente de cada uno y el orden en el cual ellos aparecen desde la primera mordida hasta completar la masticación.

El perfil de textura consiste en un panel de 6 a 10 personas entrenadas quienes poseen un alto grado de motivación y están disponibles para atender 1hr. de sesión de 2 a 3 veces semanalmente. Las características mecánicas de un alimento son descritas tanto cuantitativamente como cualitativamente por el panel, una escala estándar para proporcionar las características desarrolladas puede ser establecida, dependiendo de la importancia de las características a evaluar.

Las características mecánicas, geométricas, % grasa y humedad son evaluadas por el panel en el orden en el cual ellos aparecen. Ellos aprecian en 5 etapas (Civille and Szeszaniak 1973).³⁸

1. Antes de masticarlo
2. En el primer mordisco.
3. Fase de masticación.
4. Fase residual.
5. Tragado.

El método para manejar las diferentes características tiene que estar estandarizado.

Perfil de textura instrumental. Este procura o intenta la cuantificación de algunos parámetros texturales. Basado sobre el concepto de que algunas de estas características texturales (especialmente mecánicas) pueden ser medidas instrumentalmente.

El inicio del TPA instrumental se remonta al trabajo de Proctor y colaboradores (1955)³⁹ que simulaba la masticación utilizando dientes falsos. Los dientes son montados en un articulador a 45 mordidas por minuto por un motor eléctrico simulando la masticación. Posteriormente fueron incorporados mejillas, labios y lengua hechos de plástico.

El mayor progreso en la descripción instrumental de la textura vino con el desarrollo del Texturómetro General Foods (Szczesniak, 1963). Este instrumento utilizó un dispositivo cilíndrico para comprimir un pequeño cubo de alimento de 1.2 cm por lado al 25% de su altura original, dos veces, en una acción que imitaba el movimiento de la mandíbula. Como resultado se obtienen curvas fuerza - tiempo que desplegaban la historia completa de fuerza de la acción masticatoria. Del análisis de esta curva se extrajeron los siete parámetros texturales previamente descritos por el análisis sensorial, se hizo la descripción instrumental correspondiente de los mismos, el análisis dimensional (Bourne, 1986)²⁸ y se obtuvieron excelentes correlaciones con los correspondientes parámetros texturales (Szczesniak, 1963).⁴⁰

A la curva fuerza - tiempo se le conoce desde entonces como **Curva de perfil de textura** y a la extracción de los parámetros como **análisis de perfil de textura**.

Las máquinas universales de deformación, empleadas para diversos materiales han sido adaptadas para efectuar pruebas globales (TPA) y puntuales de textura en alimentos. Constan de una unidad motora, que gobierna otra unidad con movimiento en dirección vertical, y un sistema sensor de fuerza y registrador que consiste en una serie de celdas de carga intercambiables, cuya salida conduce a un registrador de carro móvil.

En la actualidad estas máquinas también llamadas texturometros, son más compactas están controladas por computadora incluyen un software para el análisis de las curvas fuerza - tiempo o fuerza - distancia y la obtención de los parámetros texturales.

La gran diversidad de accesorios con que están equipadas permite la ejecución de un gran número de pruebas de aplicación general y específicas para diferentes productos.³⁷

Descripción de la prueba instrumental de análisis de perfil de textura

En la fig. 9 se presenta una curva de TPA

1. Inicia la prueba.
2. Se le indica al instrumento que la punta o sensor comprima el alimento cierta distancia (dada en mm o en % con respecto a la altura de la muestra) a una velocidad dada. La prueba se indica cuando al punta o sensor detecta la superficie de la muestra y esta será el punto de referencia. En esta operación, la punta viaja hacia abajo hasta llegar a la distancia indicada.
3. La punta sube y se retira de la muestra, regresa a la posición de inicio de prueba (distancia de referencia)

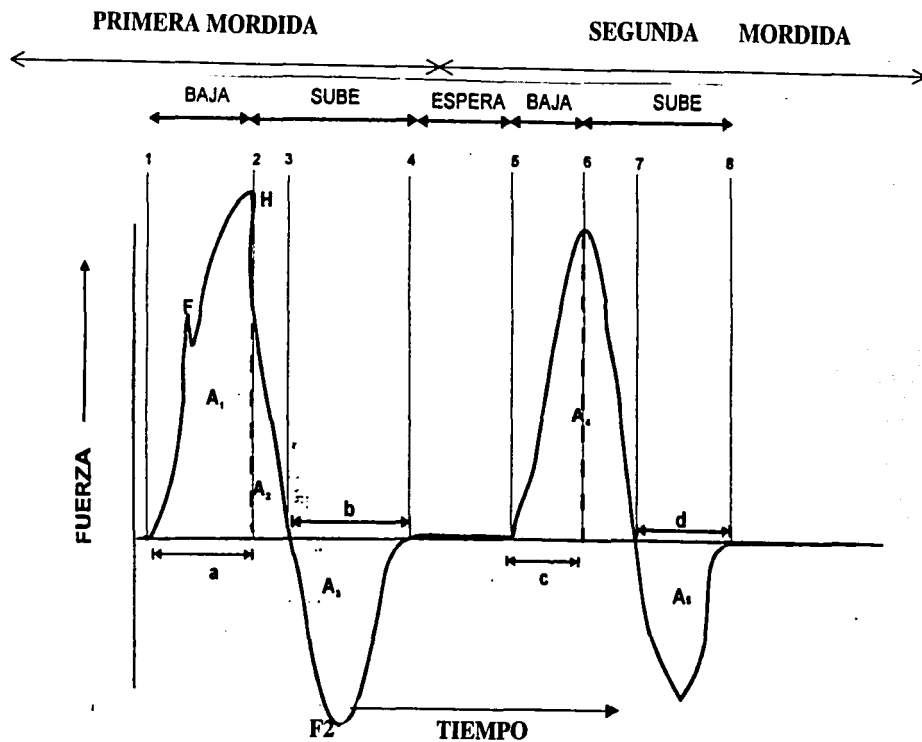
4. En esta posición espera el tiempo indicado
5. Efectúa el segundo ciclo de compresión, bajando nuevamente la distancia indicada.
6. Regresa a la posición inicial.

Durante todo este proceso, la punta detecta la fuerza y se obtiene la curva fuerza - tiempo. En el ciclo de compresión se mide la dureza y en la retirada de la sonda, las propiedades adhesivas.

La forma de la curva puede variar de la presentada como típica, básicamente en las alturas de los picos positivos y negativos, las áreas bajo estos picos, la presencia de picos secundarios, y de áreas negativas. Las fuerzas positivas indican la resistencia que ofrece la muestra a la penetración o compresión por parte de la punta en el proceso de bajada. Las fuerzas negativas indican la fuerza que opone la muestra al adherirse al sensor durante su retirada.

La altura del pico de fuerza positiva mayor en el primer ciclo de compresión (primer mordisco) se define como DUREZA. (H)

FRACTURABILIDAD (originalmente llamada fragilidad) puede ser definida como el primer pico significativo de fuerza en el primer ciclo de compresión. (F)

Fig. 9 Curva de TPA.⁴¹

La relación de las áreas de las fuerzas positivas debajo de la primera y segunda compresión $A_3 / (A_1 + A_2)$ puede ser definida como COHESIVIDAD.

El área de la fuerza negativa entre el primer y segundo ciclo (A_3) representa el trabajo necesario para jalar el dispositivo de compresión fuera de la muestra y esta definida como ADHESIVIDAD y la fuerza negativa máxima como fuerza adhesiva (F_2).

La altura que la muestra recupera entre el término del primer ciclo de compresión y el inicio del segundo (c/a) es llamada ELASTICIDAD. Cabe aclarar que aún cuando la elasticidad es una relación de distancias sus valores se pueden obtener de la curva fuerza - tiempo.

Los otros tres parámetros son derivados de cálculos efectuados con los ya medidos.

GOMOSIDAD puede ser definida como el producto de la dureza y cohesividad.

MASTICOSIDAD definida como el producto de gomosidad y elasticidad.

MODULO DE DEFORMABILIDAD definido como la pendiente en la primera parte del primer ciclo de compresión e interpretado como la resistencia que opone el material a ser deformado.⁴¹

1.17 Textura de masa y tortillas.

La textura, consistencia y/o sentir con las manos de los productos intermedios para la producción de tortillas de maíz son indicadores comunes de proceso y control de

calidad. Las principales variables que influyen en las propiedades texturales de masa y tortilla son:

- a) La cosecha y tipo de maíz.
- b) La eficiencia del cocimiento.
- c) Molienda .
- d) **Humedad de la masa y tortilla.**
- e) Inadecuado tiempo y temperatura durante el cocimiento o fritura de la tortilla.³⁷

La textura de la masa, influye de manera determinante en la elaboración de la tortilla y las características texturales de la misma; a su vez, la textura de la masa depende de factores como variedad de maíz, condiciones de almacenamiento, condiciones durante el proceso de nixtamalización (% de cal, tiempo y temperatura de cocimiento), molienda, secado y tamaño de partícula (en el caso de harina de maíz). La humedad de la masa y la tortilla, espesor de la tortilla y condiciones de cocimiento (tiempo, temperatura y tipo de cocción) son determinantes de la textura de la tortilla.

La evaluación de textura de masa y tortilla se ha efectuado de muchas maneras; se reportan desde pruebas subjetivas de enrollamiento en las cuales la tortilla se enrolla en tubos de diferente diámetro y se evalúa sensorialmente las cuarteaduras que se presentan en la orilla de la tortilla. Suhendro y col. (1998) desarrollaron un dispositivo que adaptado al texturómetro TAXT2 que mide la fuerza para enrollar la tortilla. Así mismo se han efectuado pruebas de tensión, doblado, extensibilidad y corte en celda Kramer en

tortillas. Para la masa se reportan pruebas de relajación, compresión, extrusión, adhesividad y tensión - compresión.

Almeida y Rooney (1997) del laboratorio de calidad de Cereales de la Universidad de Texas han desarrollado una serie de técnicas para la evaluación de propiedades texturales de la masa de nixtamal y sus productos utilizando el analizador de textura TAXT2 con dispositivos especialmente diseñados para este fin, incluyendo métodos para controlar la forma y dimensiones de la muestra a fin de que los factores de deformación sean similares. Las pruebas desarrolladas en este trabajo están basadas en estos métodos.²⁹

Capítulo 2

Materiales y métodos

OBJETIVOS

Objetivo General.

Evaluar el efecto de la humedad de la masa en las propiedades texturales de la masa y la tortilla elaboradas con harina de maíz nixtamalizado.

Objetivo 1.

Evaluar el contenido de humedad (55, 56, 57, 58, 59 y 60%) de la masa de harina de maíz nixtamalizado (Minsa) en las propiedades texturales análisis de perfil de textura (TPA), adhesividad, extrusión negativa - positiva y penetración utilizando un texturometro.

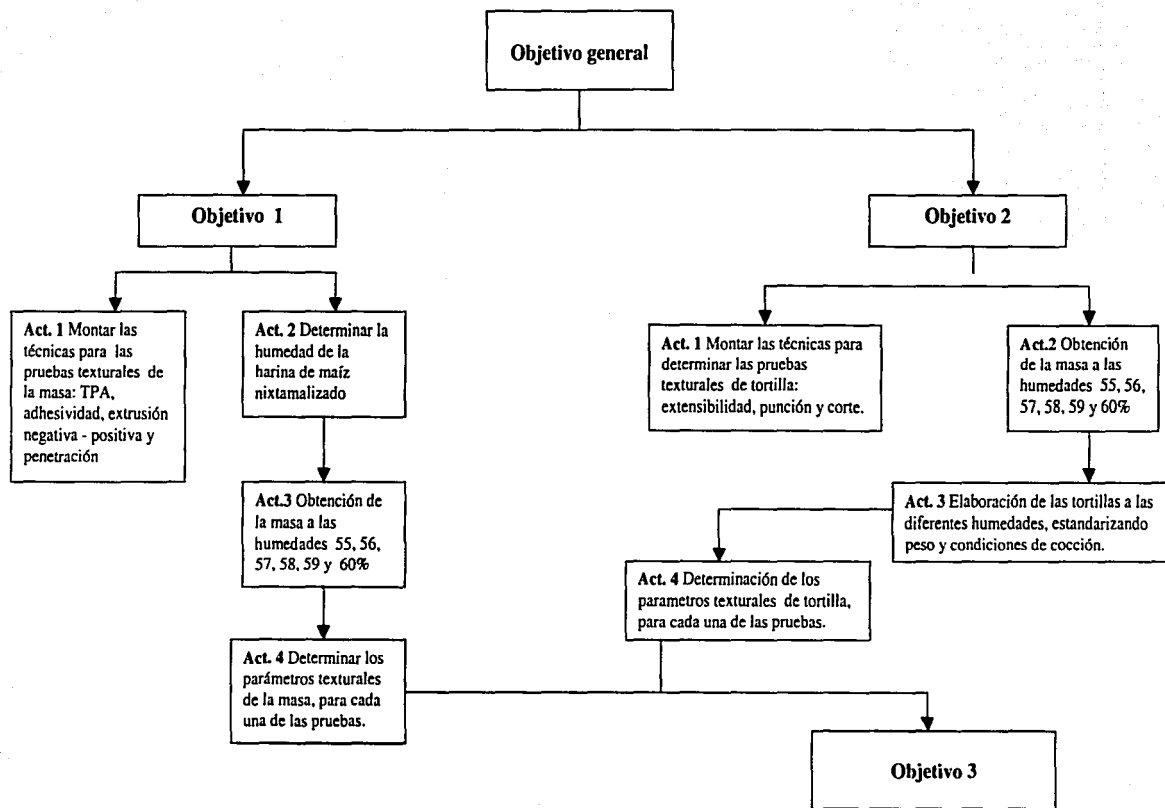
Objetivo 2.

Evaluar el contenido de humedad (55, 56, 57, 58, 59 y 60%) de la masa de harina de maíz nixtamalizado (Minsa) en las propiedades texturales de tortilla extensibilidad, corte y punción utilizando un texturometro.

Objetivo 3.

Determinar si existe correlación entre parámetros texturales de masa obtenidos en diferentes pruebas y parámetros texturales de masa y tortilla, por medio de una asociación entre parámetros ajustados a diferentes modelos (lineal, exponencial y potencial).

Fig. 10 Cuadro Metodológico



Materiales y Métodos

Objetivo 1

En la Fig. 10 se presento el cuadro metodológico de la experimentación se explicara a continuación en que consiste cada actividad y prueba.

Materiales.- Se utilizó harina de maíz nixtamalizada de la marca Minsa. Se compraron 2 Kg. por cada prueba en el supermercado y cada vez que se experimentaba, se tuvo cuidado que las bolsas fueran del mismo lote de fabricación. Los 2 Kg. de harina se mezclaron y se determinaron las pruebas para la masa y tortilla.

Actividad 2. Determinación de la HUMEDAD de la harina de maíz nixtamalizado.

Equipo.

- Termobalanza: Sartorius, Thermo control modelo YTC 01 L

Fuente de calor lámpara infrarroja, 250 W/220V o 250W/110V

La determinación de humedad de la harina se efectuó cada vez que se preparaba masa (6 veces por mes realizando cada vez 8 repeticiones).

Actividad 3. Obtención de la masa a la humedad requerida en el intervalo de (55, 56, 57, 58, 59 y 60%).

Método.

Método propuesto por Almeida y Rooney (1997). Para la preparación de la masa se mezclaron 2 bolsas de 1Kg del mismo lote.

Se calcula la cantidad de agua requerida para conseguir la masa a los diferentes niveles de humedad (55 - 60 %) siguiendo las fórmulas que a continuación se darán. (Las cuales están basadas en balance de materia)

$$Wf = NCFw / (1 - M / 100) \dots\dots\dots(3)$$

$$Vw = ((Masa_M * Wf) - (Wf * M)) / (100 - Masa_M) \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

Wf = Peso de la harina nixtamalizada en **g.**

M = Contenido de humedad en la HMN **%.**

NCFw = Peso de la HMN en base seca, **500g.**

Vw = Volumen de agua a agregar. **ml.**

Masa_M = Contenido de humedad

requerida en la masa .

Equipo:

- Balanza analítica OHAUS. Mod.TP400D. Capacidad 400g / 80g.
- Batidora kitchen aid. Modelo k5SS, con dispositivo de paleta para el mezclado.

Procedimiento.

- Determinar la cantidad de agua a añadir así como la cantidad de harina en base a las fórmulas anteriores a la humedad que se necesita entre el intervalo de 55, 56, 57, 58, 59 y 60%.

- b. Una vez conocidas las cantidades se procede a vaciar la harina y agua (35°C) a la batidora y se deja mezclar por 5 min. a velocidad baja(2).
- c. Poner la masa en una bolsa de polietileno y dejar reposar por 15 min. en el refrigerador para una mayor hidratación de la harina para la obtención de la masa.
- d. Sacar la masa y dejar que alcance la temperatura ambiente (25°C).

Actividad 4. Determinar propiedades texturales de la masa a diferentes humedades (55, 56, 57, 58, 59 y 60%)

a) Prueba de análisis de perfil de textura (TPA) en la masa.

Equipo.

- TA.XT2 Texture Analyser. Celda de carga de 25 Kg.
- Software: Texture expert V. 1.16
- Cilindro de 2 in. de diámetro
- Base de acrílico de 10x10 cm. con una perforación en el centro de 11/2" de diámetro y 11/2" de altura para dar forma a la muestra.
- Cronómetro
- Balanza Analítica OHAUS

Condiciones de la prueba

Velocidad de acercamiento del dispositivo a la muestra: 5.0 mm / s

Velocidad de la prueba: 5.0 mm / s

Velocidad de retirada: 5.0 mm/ s

Tiempo : 1.00 s de espera entre el primer ciclo y segundo ciclo de compresión.

Distancia de penetración: 10.5 mm

Fuerza para la detección de la muestra: 10 g

Procedimiento.

- a. Pesar 40g. de las muestras de masa a las diferentes humedades, una vez que esté pesadas pasar al moldeado.
- b. Colocar en el molde de acrílico previamente engrasado, comprimir la masa dentro del molde retirar con la espátula la masa sobrante y colocar peso de 2 Kg. durante 2 min. al desmoldar se obtiene un cilindro de masa de 1.5 in de altura por 1.5 in de diámetro y de 31 - 32g de peso.
- c. Colocar la muestra en forma de cilindro en la base del Texturometro, para proceder a la prueba de TPA.
- e. Poner el dispositivo que en este caso es el cilindro de 2 in de acrílico en el Texturometro.
- f. Correr la prueba.

La prueba consiste básicamente en lo siguiente:

(Fig. 9, antecedentes pagina 35).

1. Se le indica al instrumento que la punta o sensor comprima al alimento cierta distancia (dada en mm o en % con respecto al sensor y a la altura de la muestra) a una Velocidad dada. La prueba se inicia cuando la punta o sensor detecta la superficie de la muestra y esta será el punto de referencia (distancia cero). En esta operación, la punta viaja hacia abajo hasta llegar a la distancia indicada.

2. La punta sube y se retira de la muestra, regresa a la posición de inicio de prueba (distancia de referencia).
3. En esta posición espera el tiempo indicado.
4. Efectúa el segundo ciclo de comprensión, bajando nuevamente a la distancia indicada.
5. Regresa a la posición original antes de iniciar la prueba.

Los datos de fuerza, distancia y tiempo son registrados en la computadora y graficados. Se efectuaron 10 repeticiones por cada humedad, de las cuales se eliminaron aquellas curvas que presentaron los valores más altos o bajos y las restantes (3 mínimos) se obtuvieron las fuerzas, distancias, pendientes y áreas para el cálculo de los parámetros del TPA, que son los siguientes: dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticosidad. De cada parámetro se obtiene media, desviación estándar y coeficiente de variación.

b) Prueba de adhesividad en la masa.

Equipo.

- TA.XT2 Texture Analyser. Celda de carga de 25 Kg.
- Software: Texture Expert V.1.16
- Cilindro de 2in de diámetro
- Placa de acrílico de 12x12 cm. con una perforación en el centro de 3in de diámetro y 10mm. de altura para dar forma a la muestra, una base de acrílico de 12x12 con unas barras a los lados de acrílico con una altura de 5mm.

- Cronometro
- Balanza analítica OHAUS

Condiciones de la prueba.

Velocidad de acercamiento a la muestra: 5.0 mm / s

Velocidad de la prueba: 5.0 mm / s

Velocidad de retirada: 5.0 mm / s

Fuerza: 510 g

Tiempo de compresión: 5.0 s

Distancia del dispositivo después de la compresión: 5.0 mm

Fuerza para detección de la muestra: 5 g.

Procedimiento.

- a. Pesar 150g. de muestra de masa.
- b. Poner la muestra en la base de acrílico de 12x12, y moldear colocando la base perforada a fin de comprimir la muestra hasta tomar la forma de la perforación de 3 in.
- c. Una vez que toma la forma, la masa que sobra en la superficie se rasa hasta tener una superficie plana.
- d. Proceder a realizar la prueba.
- e. La prueba consiste básicamente en lo siguiente.
 1. Se le indica al instrumento que la punta o sensor comprima al alimento con una fuerza de 510 g durante una velocidad de 5 mm/s. La prueba se inicia cuando la punta o sensor detecta la superficie de la muestra (con una fuerza de 5 g.) y esta será el

punto de referencia. En esta operación, la punta viaja hacia abajo hasta alcanzar 510 g. y espera en esta posición 5 s.

2. La punta sube y se retira de la muestra, hasta la distancia indicada (5 mm) con la finalidad de que el equipo detecte la fuerza necesaria para que el dispositivo se despegue de la muestra, también permite detectar las propiedades cohesivas y adhesivas de la muestras y la distancia que puede estirarse sin romper.
3. Regresa a la posición original antes de iniciar la prueba

En la Fig. 11 se representa una curva típica de la prueba, de la cual se calcula:

La fuerza adhesiva que es igual a la fuerza máxima para despegar la muestra (punto **b**). Trabajo total (área bajo la curva de **a - c**). Área adhesiva (área entre **a - b**) y área cohesiva (área bajo la curva entre **b - c**). Estiramiento (distancia de **a - c**) y relación área adhesiva / área cohesiva.

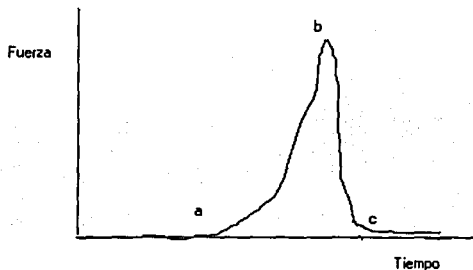


Fig. 11 Gráfica de adhesividad

Se efectuaron 5 repeticiones por cada humedad Se eliminaron aquellas curvas que presentaron una desviación importante de la mayoría. Análisis estadístico que contempla media, desviación estándar, coeficiente de variación y curva promedio.

c) Prueba de extrusión positiva en la masa.

Equipo.

- Texturometro TA 500. Lloyd. Celda de carga de 500N.
- Software: Rcontrol for Windows V. 1.01
- Base de acrílico de 10x10 cm. con una perforación en el centro de 1.5 in de diámetro y 1.5in de altura para dar forma a la muestra. (Almeida y Rooney.1997.)
- Cronometro
- Balanza analítica OHAUS
- Dispositivo de extrusión que consta de un cilindro de acrílico de 4.8 cm. de diámetro y de altura 10.1cm., con una perforación en la base de 1 cm., montado en una placa de acero inoxidable de 10.1 x 8.9 cm.
- Placa de compresión de 4.8 cm de diámetro.

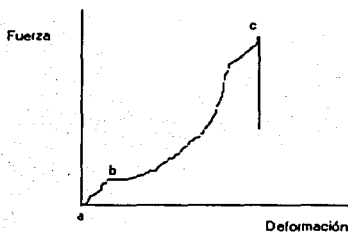
Condiciones de la prueba.

Fuerza para detección de la muestra (precarga) 0.02 Kgf

	Velocidad de la prueba	Distancia	Tiempo
ETAPA 1	3.00 mm / sec	20.00 mm	0.00 sec
ETAPA 2	3.00 mm /sec	20.00 mm	2.00sec

Procedimiento.

- a. Pesar 40g. de las muestras de masa y moldearlas de la misma forma descrita en la prueba de TPA. Colocar el cilindro de masa dentro del dispositivo.
- b. Iniciar la prueba. La placa comprime el cilindro de masa hasta la distancia indicada (20mm) y permanece en esta posición por 2 seg. Durante esta prueba, la masa es comprimida, se expande hasta ocupar el diámetro del cilindro y es extruída por el orificio.
- c. Los datos son registrados en la computadora y graficados; se indica que calcule:
Fuerza máxima (punto c). Trabajo de extrusión (área bajo la curva) de los puntos a - c.
Resistencia a la extrusión (pendiente) de los puntos b - c. (Fig. 12).

**Fig. 12** Gráfica de extrusión positiva

Se efectuaron 7 repeticiones por cada humedad, de las cuales se eliminaron aquellas que presentaron desviación de la mayoría. Análisis estadístico que contempla media, desviación estándar, coeficiente de variación y curva promedio.

d) Prueba de extrusión negativa en la masa.

Equipo.

- Texturometro modelo TA 500. Lloyd. Celda de carga de 500N.
- Software: Rcontrol for Windows V 1. 01
- Base de acrílico de 10x10 cm. con una perforación en el centro de 1.5in de diámetro y 1.5in de altura para dar forma a la muestra. Ref. (Almeida y Rooney.1997.)
- Cronometro
- Balanza analítica OHAUS
- Recipiente cilíndrico con diámetro de 4.9 cm y altura de 5.9cm., placa circular de diámetro de 4.4 cm. y espesor de 0.6 cm

Condiciones de la prueba.

Fuerza para la detección de la muestra 0.02 Kgf

(Precarga)

	Velocidad de la prueba	Distancia	Tiempo
ETAPA 1	3.00 mm / sec	20.00 mm	0.00 sec
ETAPA 2	3.00 mm /sec	20.00 mm	2.00 sec

Procedimiento.

- a. Pesar 40g. de las muestras de masa a las diferentes humedades, una vez que estén pesadas pasar al moldeado.
- b. Obtener una muestra de masa de forma cilíndrica igual a la utilizada para TPA y extrusión positiva.
- c. Colocar el cilindro de masa dentro del vaso de acrílico y comprimir con la placa de acero haciendo que la masa fluya por las paredes hacia arriba.

Los datos son registrados en la computadora y graficados. Se indica que calcule:

Fuerza máxima (punto c). Trabajo de extrusión (área bajo la curva) de los puntos a - c.

Resistencia a la extrusión (pendiente de los puntos b - c). (Fig. 13).

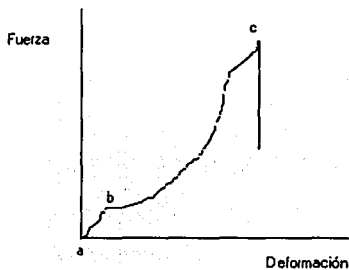


Fig. 13 Gráfica de extrusión negativa.

Se efectuaron 7 repeticiones cada humedad, de las cuales se eliminaron aquellas que presentaron desviación importante en la mayoría. Con las restantes (3 mínimo) se obtuvieron los parámetros texturales de los cuales se reporta promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

e) Prueba de penetración en la masa para la obtención del esfuerzo de cedencia.

Método. Técnica de penetración con el Texturometro. TA - XT2. Texture Analyser.

Determinar el área del cono:

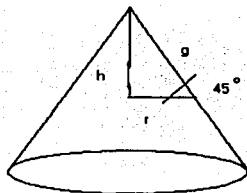


Fig. 14 Esquema del cono de la prueba de penetración.

$$\text{Area} = \pi * r * g \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Tan } 45^\circ = r / h \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$g = (r)^2 + (h)^2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$r =$ radio a la distancia penetrada = 1.05 cm.

$g =$ generatriz = 1.4849

$h =$ distancia de penetración de la prueba (1.05 cm.)

área de contacto = 4.898 cm²

Equipo.

- TA.XT2 Texture Analyser. Celda de carga 25 kg.
- Software: Texture expert V. 1.16
- Base de acrílico de 10x10 cm. con una perforación en el centro de 1.5in de diámetro y 1.5 in de altura para dar forma a la muestra.
- Cronometro
- Balanza analítica OHAUS
- Dispositivo para la prueba cono de acero inoxidable 45°

Condiciones de la prueba.

Velocidad de acercamiento de la muestra: 5.0 mm / s

Velocidad de la prueba : 1.0 mm / s

Velocidad de retirada: 5.0 mm/ s

Distancia de penetración: 10.5 mm

Fuerza para la detección de la muestra : 5 g

Procedimiento.

- a. Pesar 40g. de las muestras de masa, una vez pesadas pasar al moldeo, como se efectuó para la prueba de TPA.
- b. Colocar la muestra en forma de cilindro en la base del texturómetro, para proceder a la prueba de penetración.
- c. La prueba consiste en lo siguiente:

Indicar que una vez que el dispositivo hace contacto con la muestra, penetre a la distancia de 10.5 mm y retorne a su posición inicial. Obtener la fuerza a la distancia de penetración y calcular el esfuerzo (cc. 2, pag. 35); gráfica el esfuerzo contra la velocidad de penetración y por medio de una regresión lineal obtener la pendiente y la ordenada al origen (esfuerzo de cedencia)

Se efectuaron 4 repeticiones por cada humedad, se calculo promedio, desviación estándar y coeficiente de variación del esfuerzo máximo.

Objetivo 2

Actividad. 3 Elaboración de las tortillas a las humedades de 55, 56, 57, 58, 59 y 60.

Material.

- Masa a las diferentes humedades, preparada como se indico anteriormente.
- Comal
- Mechero
- Recipiente de plástico.

- Máquina para hacer tortillas.
- Cronometro.

Procedimiento.

- a. Pesar la masa para la elaboración de la tortilla aprox.(34 -37g).
- b. Pasar a la maquina para hacer tortillas y moldear.
- c. Una vez que el comal esté caliente poner la tortilla cruda; el cocimiento es homogéneo por sus dos caras con un tiempo de cocción que fue de 1min. por cara, más un tercer tiempo en la primera cara..
- d. Dejar enfriar a 40° C en un recipiente térmico para no perder humedad.

Actividad 4. Determinar propiedades texturales de la tortilla a diferentes humedades (55, 56, 57, 58, 59 y 60%)

- a) Determinación de Extensibilidad de tortilla .

Equipo.

- TA.XT2 Texture Analyser. Celda de carga 25 kg.
- Software: Texture expert V 1.16
- Dispositivo de extensibilidad.
- Regla.
- Balanza

Condiciones de la prueba:

Velocidad de acercamiento a la muestra: 6.0 mm / s

Velocidad de la prueba: 2.0 mm / s

Velocidad de retirada: 10.0 mm/ s

Distancia de extensión: 16.0 mm

Fuerza para detección de la muestra: 20 g

Procedimiento.

- a. Colocar la tortilla en el dispositivo de extensibilidad, en este la tortilla se retira y se asegura con 4 tornillos. (Fig. 15).
- b. Colocar el dispositivo para comprimir que es el cilindro de 2 in de diámetro, el cual va recorrer cierta distancia a la velocidad especificada reportando la fuerza aplicada para extender la tortilla hasta romperla.

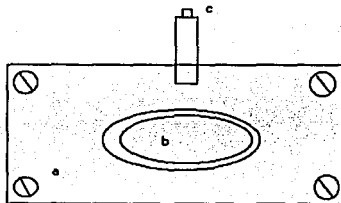


Fig. 15 Dispositivo de extensibilidad a) placa con cuatro tornillos para aprisionar la muestra b) perforación en el centro c) cilindro de acrílico.

- c. Los datos de distancia y fuerza son graficados y se obtienen los parámetros de estiramiento: distancia a la ruptura ($a - b$), fuerza de ruptura (punto b), trabajo de estiramiento (área bajo la curva entre $a - b$), resistencia a la extensión (pendiente del punto $a - b$). (Fig.16).

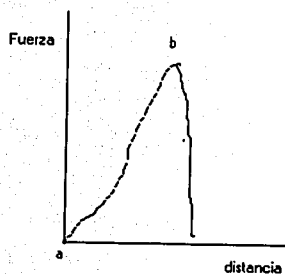


Fig. 16 Curva de extensibilidad

Se efectuaron 5 repeticiones cada humedad, de las cuales se eliminaron aquellas que presentaron desviación importante en la mayoría. Con las restantes (3 mínimo) se obtuvieron los parámetros texturales de los cuales se reporta promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

b) Prueba de punción en la tortilla.**Equipo.**

- TA.XT2 Texture Analyser. Celda de carga 25 kg.
- Software: texture expert V1.16
- Placa perforada de acero inoxidable de 10x 10 con un orificio de diámetro de 1 cm.
- Aguja de acero inoxidable con un diámetro de 2mm.

Condiciones de la prueba.

Velocidad de acercamiento a la muestra: 2.0 mm/s

Velocidad de la prueba: 2.0 mm/s

Velocidad de retirada: 5.0 mm/s

Distancia: 12mm

Fuerza para la detección de la muestra: 15g

Procedimiento.

- a. Poner el dispositivo de aguja centrado con el orificio de la placa.
- b. Colocar la tortilla en la placa perforada de modo que quede centrada y sostener con la mano.
- c. Iniciar la prueba. Los datos en función del tiempo son registrados en la computadora y graficados, se obtienen los siguientes parámetros texturales: fuerza de penetración (**b**), trabajo de punción (área bajo la curva entre **a** - **b**), y resistencia a la punción (pendiente entre **a** - **b**). (Fig. 17).

Se efectuaron 8 repeticiones por cada humedad, en este caso no se sacó promedio ya que la tendencia de las gráficas era dispersa, considerando poner solo una.

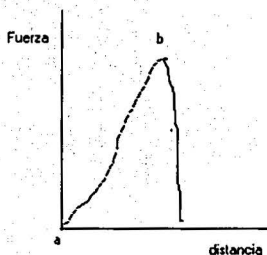


Fig. 17 Curva de punción.

c) Prueba de corte en la tortilla.

Equipo.

- TA.XT2 Texture Analyser. Celda de carga 25 kg.
- Software: texture expert V1.16
- Dispositivo Juego de cuchillas (Fig. 14) que consta de una cuchilla con filo (a) y una base de acero inoxidable (b) con una abertura a través de la cual pasa la cuchilla después de efectuar el corte.

Condiciones de la prueba.

Velocidad de acercamiento a la muestra: 3.0 mm/s

Velocidad de la prueba: 2.0 mm/s

Velocidad de retirada: 10.0 mm/s

Distancia de corte: 30 mm

Fuerza para la detección de la muestra: 20g

Procedimiento.

a. Cortar de la parte central de la tortilla placas de 65 mm de ancho por 80 mm de largo. Colocar 3 placas de tortilla (espesor total de 8 mm) una sobre otra, sobre la placa del dispositivo de manera que al ancho de la tortilla quede perpendicular a la abertura de la placa. (Fig. 18). Esta forma de la tortilla fue para simular la formación del taco, ya que a humedades bajas se cuartea la tortilla y no es representativo.

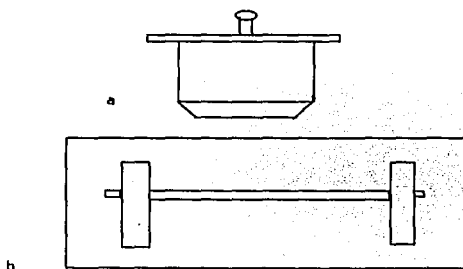


Fig. 18 Juego de cuchillas a) cuchilla de acero inoxidable b) base donde ésta la abertura por la cual pasara la muestra.

- b. Hacer pasar la cuchilla sobre la base y la tortilla, ejerciendo fuerza para cortarla.
- c. Los datos son registrados en la computadora y graficados.

Obtener la fuerza de corte (punto **b**), así como la resistencia que opone el material al corte (pendiente de **a - b**), trabajo de corte (área bajo la curva de **a - b**), estiramiento (distancia hasta el corte de **a - b**). (Fig. 19).

Se efectuaron 8 repeticiones cada humedad, de las cuales se eliminaron aquellas que presentaron desviación importante en la mayoría. Con las restantes (3 mínimo) se obtuvieron los parámetros texturales de los cuales se reporta promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

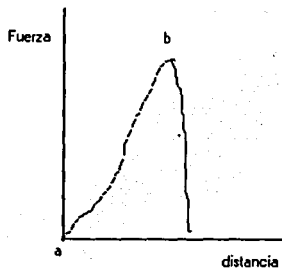


Fig. 19 Curva de corte.

Capítulo 3

Resultados y discusión

Objetivo 1

Actividad 2. Determinación de la humedad de la harina de Maíz nixtamalizado.

En el Tabla 17 se presenta el contenido de humedad de la harina de maíz nixtamalizado empleada en la experimentación. Puede observarse que la humedad de la harina se ve influenciada por las condiciones ambientales ya que en meses fríos y secos como febrero y marzo se obtiene un porcentaje de humedad menor que en el período de abril a junio (meses más cálidos y húmedos) en los que la humedad se mantiene en un rango de 6.8-9%.

Mes	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
% Humedad	4.18	6.34	6.93	5.84	6.3	8.74
	4.8	5.25	5.73	6.37	7.3	8.69
	4.89	6.52	5.9	6.14	6.9	9.67
	4.8	5.31	5.7	5.71	6.5	9.42
	4.62	5.29	6.5	6.72	7.1	8.31
	3.96	5.2	5.72	5.98	6.98	9.11
x	4.54	5.65	6.08	6.12	6.84	8.99
sd	0.38	0.61	0.51	0.37	0.38	0.46
% cv	8.4	10.73	8.4	6.069	5.5	5.13

*Cada valor es el promedio de 8 repeticiones.

Esta medida de humedad de la harina era determinante, ya que para preparar masa a una humedad determinada se requiere conocer la humedad de la harina que se parte.

Actividad 3. Obtención de la masa a la humedad requerida en el intervalo de (55, 56, 57, 58, 59 y 60%).

Las características de la masa obtenida a las diferentes humedades muestran que a 55, 56, 57 y 58%, no hay una hidratación completa de toda la harina por lo que la masa se desmorona al quitarla de la mezcladora; después del reposo de 15 min., presenta las mismas características y al pasar a formar la tortilla, en el centro se compacta la masa pero en las orillas se desmorona y se forman bolitas de la misma masa que no se hidrataron bien. A humedades de 59 a 60% la harina se hidrata bien y la masa no se desmorona ni se pega en las manos, siendo fácil de manejar para la elaboración de las tortillas.

Actividad 4. Determinar propiedades texturales de la masa a diferente humedad (55,56, 57, 58, 59 y 60%).

a) Prueba del análisis de perfil de textura (TPA) en la masa.

En la Fig. 20 y tabla 18 se presentan los resultados de la prueba de TPA. Puede notarse que el contenido de humedad de la masa influye de manera importante en la curva y parámetros de TPA.

Tabla 18. Resultados de la prueba TPA en masa a las humedades 55, 56, 57, 58, 59 y 60%.

Hum.		Dureza	Adhesividad	Fuerza adhesiva	Cohesividad	Gomosidad	Índice de Elasticidad	Masticosidad	Modulo 1	Modulo 2
		g	g%	g		g		g	g/mm	g/mm
55%	x	3403.30	84.77	537.20	0.21	716.02	0.22	158.35	2180.93	553.01
	sd	185.81	25.54	78.17	0.01	56.12	0.02	23.50	270.70	25.12
	%cv	5.16	30.12	14.55	2.87	7.88	7.33	14.84	12.41	4.54
56%	X	2180.10	29.42	316.52	0.23	491.33	0.22	110.14	1297.07	384.84
	sd	145.11	6.56	72.03	0.02	13.28	0.02	4.80	123.69	15.97
	%cv	6.66	22.31	22.75	8.33	2.70	8.54	4.36	9.54	4.15
57%	x	2348.11	58.62	586.21	0.21	526.36	0.21	116.91	1260.65	411.27
	sd	130.80	12.50	125.42	0.00	30.90	0.01	0.91	42.86	6.34
	%cv	5.57	21.40	21.39	2.15	5.87	4.76	0.78	3.40	1.54
58%	x	2192.75	66.41	444.72	0.20	517.47	0.29	178.04	1463.70	435.41
	sd	33.43	11.20	79.04	0.01	45.15	0.07	30.52	93.39	49.88
	%cv	15.39	16.86	17.77	3.52	8.72	23.80	17.14	6.38	11.46
59%	x	2128.46	104.23	479.12	0.21	497.76	0.24	144.26	1370.40	409.61
	sd	184.21	18.43	57.35	0.01	39.33	0.02	17.39	81.80	40.83
	%cv	8.65	17.68	11.95	6.05	7.90	6.67	12.05	5.97	9.97
60%	x	1765.03	78.41	363.96	0.21	374.05	0.23	113.11	1025.65	339.62
	sd	54.36	9.49	30.66	0.01	25.57	0.01	31.81	207.66	61.34
	%cv	3.08	12.11	8.42	3.84	6.84	6.31	28.12	20.25	18.06

*Cada dato es el promedio de 8 determinaciones por cada humedad.

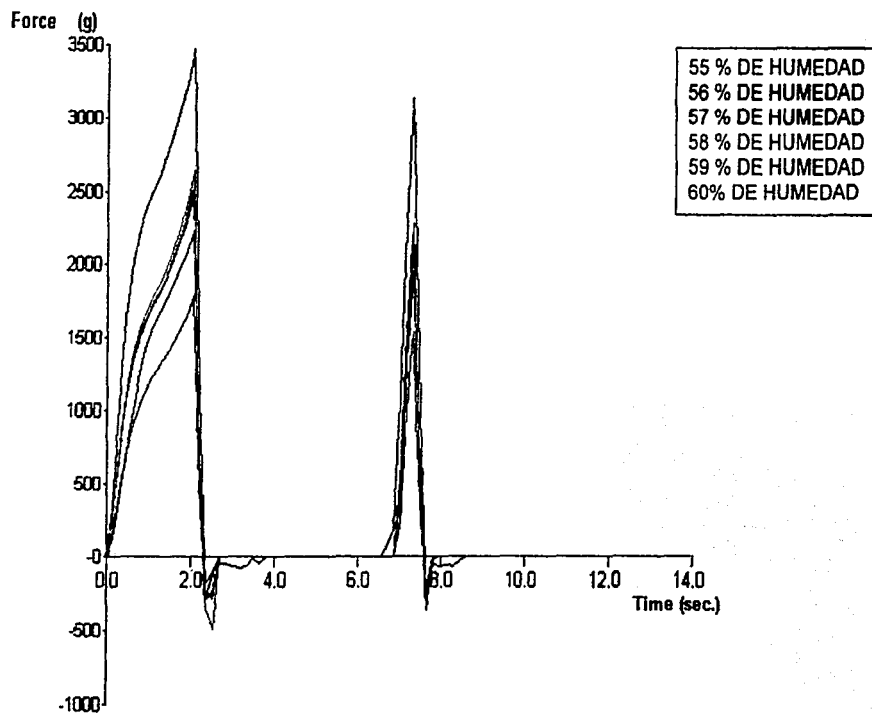
Dureza. En las masas con contenido de humedad de 55, 56 y 57% la hidratación de la harina no fue adecuada, haciendo que la masa sea más dura y poco manejable, lo que ocasiona que se formen grumos grandes que no se unen entre si; a contenidos de humedad de 58, 59 y 60% la harina tienen una hidratación completa dando una masa más suave y manejable. A 55 y 56% de humedad, la dureza disminuye notablemente, manteniéndose de 57 a 59% en un intervalo relativamente constante (2100 - 2300g).

De 59 a 60% ocurre nuevamente una disminución de dureza importante. De manera general puede decirse que al aumentar el contenido de humedad, disminuye la dureza, esto implica que la fuerza mecánica aplicada a la masa para la formación de la tortilla es menor.

Cohesividad la masa presenta una cohesividad baja (0.20 - 0.23), caracterizada por una importante disminución del área positiva del segundo ciclo de compresión en comparación con el área del primer ciclo (Fig. 20). La prueba de TPA, no detecta diferencias importantes en cohesividad por efecto del % de humedad.

Adhesividad comparando las áreas positivas con las negativas en la gráfica de TPA (Fig. 20) puede observarse que las propiedades adhesivas (áreas negativas) son mínimas comparadas con las de dureza (áreas positivas) . Así mismo puede notarse que no existe una tendencia clara por efecto del contenido de humedad; la fuerza negativa tampoco presentó un cambio claro por el efecto del contenido de humedad en la masa (Tabla 18).

FIG. 20. PRUEBA DE ANALISIS DE PERFIL DE TEXTURA EN MASA.
EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD



Gomosidad.- Esta propiedad es el producto de la dureza por la cohesividad. Como el contenido de humedad no influyó en la cohesividad de la masa, la gomosidad presenta la misma tendencia que la dureza (ver Tabla 18).

Índice de Elasticidad. La masa presenta un bajo índice de elasticidad. Esta propiedad también cambió poco por el efecto del % de humedad, pero puede notarse que aumenta ligeramente a 58% de humedad y luego disminuyó.

Masticosidad Es el producto de gomosidad por elasticidad. Una alta masticosidad puede obtenerse con alta gomosidad ó alta elasticidad. En el caso de la masa, la masticosidad más alta se obtuvo a 58% de humedad que es la que presenta mayor elasticidad, le sigue la de 55% de humedad que es la que presenta mayor gomosidad, aún cuando la masa no se consume como tal, la masticosidad puede tener relación con la manipulación de la masa para la elaboración de la tortilla.

Módulo 1. Es la pendiente al inicio del primer ciclo de compresión y representa la resistencia que opone la masa a ser comprimida, sin expandirse. Al aumentar el contenido de humedad hasta 57%, el módulo 1 disminuye; en 58% aumenta nuevamente para luego continuar disminuyendo a 59 y 60% de humedad

Módulo 2. Una vez que el cilindro de masa se compactó, al continuar la deformación este se comprime pero con una expansión lateral lo que hace que la resistencia a la deformación disminuya, lo cual se manifiesta en el primer ciclo de la curva de TPA

(Fig. 20) como un cambio de pendiente, este módulo presenta la misma tendencia que el módulo 1 y ambos una tendencia similar a la dureza.

Los cambios mas drásticos que se presentaron en la masa a humedad de 55 a 56% fueron en la dureza disminuyendo 1.4 veces lo que repercute en una disminución de la misma magnitud en la masticosidad. El modulo 1 que disminuye 1.7 veces de 55 a 56 % y el modulo 2 1.4 veces. De 59 - 60% de humedad, la dureza disminuye 1.2 veces, la gomosidad 1.3 veces, el modulo 1 3 veces y el modulo 2 1.2 veces.

El TPA no dio información clara sobre el efecto del contenido de humedad en las propiedades cohesivas y adhesivas de la masa. Debido a que es una prueba enfocada a una evaluación global de varias propiedades texturales y probablemente no detecta con suficiente sensibilidad variaciones en materiales con propiedades muy similares. Para obtener mayor información al respecto, se efectuó una prueba específica de adhesividad que permite separar y evaluar tanto propiedades adhesivas como cohesivas.

b) Prueba de Adhesividad en masa

Otra característica mecánica primaria de textura es la adhesividad que cuantifica el trabajo para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie que se encuentra en contacto con el alimento. En la tabla 19 y fig. 21 se presentan los resultados de la prueba.

Tabla 19. Resultados de la prueba de adhesividad en masa a las humedades de 55, 56, 57, 58, 59 y 60%.

		Fuerza adhesiva g	Wadhesión g mm	Wcohesión g mm	Rel. Cohesión/ adhesión	Extensibilidad mm
Hum. 55%	x	90.88	6.59	11.02	1.67	0.1
	sd	9.01	0.014	3.42	0.52	0.0
	% Cv	9.91	0.21	31.05	31.2	0.0
Hum. 56%	x	100.9	8.17	18.35	2.27	.40
	sd	25.15	1.07	1.05	0.34	0.14
	%cv	24.92	8.66	20.13	14.94	35.35
Hum. 57%	x	116.42	8.66	20.12	2.52	0.46
	sd	35.85	5.24	8.32	0.51	0.15
	%cv	30.79	60.55	41.35	20.48	32.73
Hum. 58%	x	148.75	10.09	26.76	2.67	0.45
	sd	12.92	1.45	1.96	0.20	0.13
	%cv	8.69	14.44	7.33	7.82	28.68
Hum. 59%	x	204.43	21.87	26.84	1.26	0.8
	sd	8.35	4.64	3.41	0.28	0.38
	%cv	4.08	21.21	12.72	22.16	48.41
Hum. 60%	x	215.53	28.59	47.69	1.85	0.83
	sd	51.88	13.47	4.75	0.63	0.40
	%cv	24.04	47.12	9.98	33.96	48.49

Al aumentar el contenido de humedad puede notarse un aumento significativo tanto en la fuerza adhesiva (2.3 veces más grande a 60 que a 55%) como en el área total (suma área cohesiva mas adhesiva) (3.5 veces), (Tabla 19), al separar el área total en sus dos componentes (trabajo de adhesión y trabajo de cohesión) se observa que de 55 a 60% de humedad, el trabajo de adhesión y cohesión aumenta (4.3 veces). De 56 a 57% de humedad se presenta un cambio mínimo en las propiedades adhesivas con una ligera disminución en la relación cohesión / adhesión, pero aún con un importante predominio de la primera.

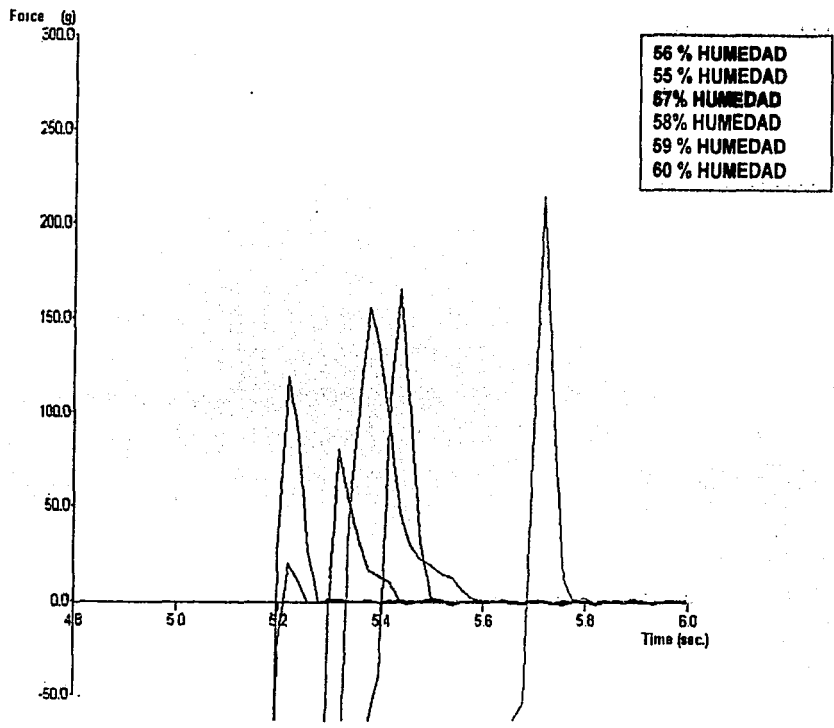
La extensibilidad aumenta al aumentar el contenido de humedad y puede relacionarse con el aumento de las propiedades cohesivas de la masa a humedad del 60%. Para una adecuada formación de la tortilla, debe predominar la cohesión sobre la adhesión pues si sucede lo contrario la masa se desmorona.

La masa conforme aumenta su % de humedad, es más manejable para dar forma a la tortilla, siendo más cohesiva, esto se refleja en los resultados obtenidos de esta prueba.

Es importante subrayar que esta prueba da una información mucho más detallada que el TPA de las propiedades cohesivas y adhesivas de la masa y el efecto que sobre éstas tiene el contenido de humedad.

Los coeficientes de variación de la tabla 19 con respecto a las propiedades texturales de la masa son altos, estos datos son los que realmente se dieron en la experimentación y es el promedio de 3 repeticiones mínimo por cada humedad.

**FIG. 21. PRUEBA DE ADHESIVIDAD EN MASA
EFECTO DE LA HUMEDAD DE LA MASA**



c). Prueba de Extrusión Positiva en la masa

En la tabla 20 y fig. 22 y 22a se observan los resultados de la influencia del contenido de humedad de la masa al someterla a la extrusión positiva

Tabla 20. Resultados de la prueba de extrusión positiva en masa a humedad de 55, 56, 57, 58, 59 y 60%.

% humedad	Fuerza de extrusión Kgf	Resistencia a la compresión kgf / mm	Resistencia a la extrusión kgf / mm	Trabajo total* kgf * mm
55 x=	49.62	3.49	85.62	1081.5
sd=	0.21	0.16	3.94	146.37
%cv=	0.43	4.64	4.6	13.53
56 x=	49.57	3.22	85.19	774.28
sd=	0.06	0.05	0.84	45.6
%cv=	0.11	1.47	0.99	5.89
57 x=	47.98	3.2	67.48	614.2
sd=	1.77	0.65	3.52	350.49
%cv=	3.68	20.47	5.2	57.06
58 x=	42.74	3.04	64.45	610.87
sd=	4.28	0.5	2.62	4.081
%cv=	10.01	5.03	4.26	6.68
59 x=	35.77	2.93	58.77	569.5
sd=	4.34	1.21	9.18	9.76
%cv=	12.14	41.21	15.63	1.71
60 x=	28.17	2.95	46.69	489.48
sd=	0.78	0.61	1.02	11.48
%cv=	2.78	20.88	2.18	2.35

* Trabajo total= Trabajo de compresión más trabajo de extrusión

La Extrusión negativa y positiva como se mide en el texturometro puede ser la simulación del proceso en que la masa se transforma en tortilla, en un sistema mecanizado donde es sometida a un extrufo por rodillos para darle forma.

Al inicio de la prueba, la fuerza aumenta con una pendiente (resistencia a la compresión) relativamente baja, mientras el cilindro de masa empieza a ser comprimido.

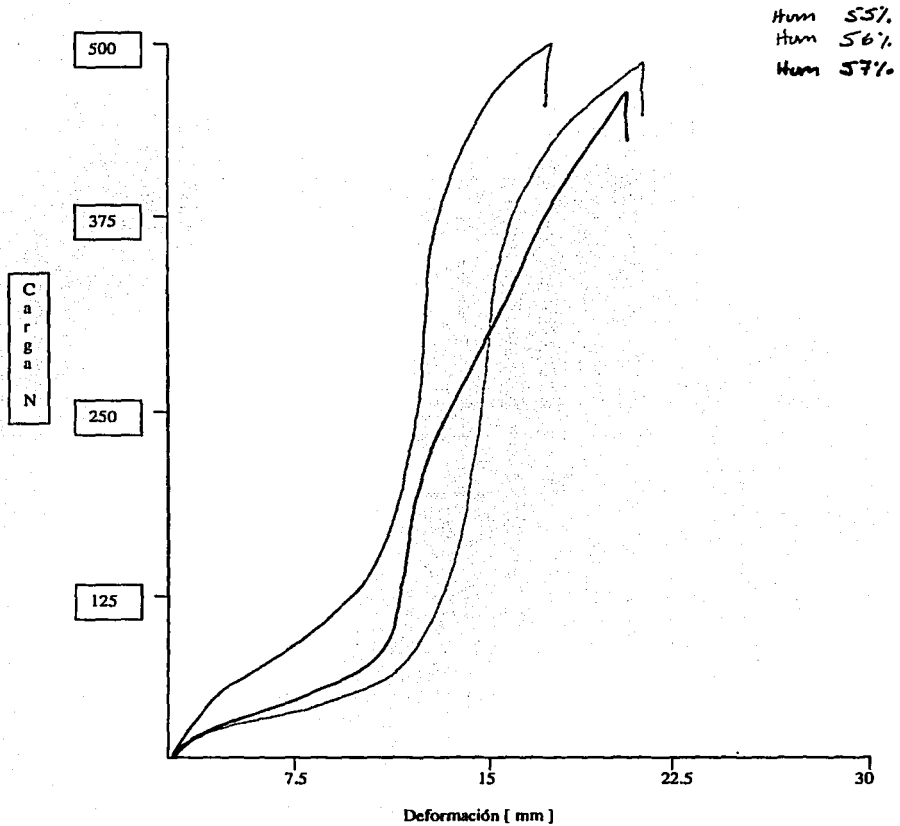
Cuando la muestra se extiende y ocupa todo el diámetro del recipiente, hay un aumento brusco de pendiente, misma que disminuye ligeramente cuando la masa empieza a salir por el orificio. (Fig. 22 y 22a)

Puede notarse (Tabla 20) que la fuerza máxima de extrusión y la resistencia a la extrusión y compresión disminuyen al aumentar el contenido de humedad de la masa. En la fuerza máxima de extrusión la disminución por efecto del aumento de la humedad de la masa fue mínimo de 55 a 56% de humedad y fue aumentando gradualmente hasta llegar al máximo de disminución (1.27 veces) de 59 a 60%. En la resistencia a la extrusión, los cambios más notables ocurrieron de 56 a 57% de humedad (1.26 veces) y de 59 a 60% (1.26 veces).

En general, todos los parámetros disminuyen al aumentar el contenido de humedad. La resistencia a la compresión presenta cambios poco significativos. Los cambios más importantes en fuerza y resistencia a la compresión ocurren de 56 a 57% de humedad y de 59 a 60%. De 56 a 57% y de 59 a 60% de humedad, se presenta un aumento importante en el trabajo de cohesión y de 59 - 60% una disminución importante de dureza.

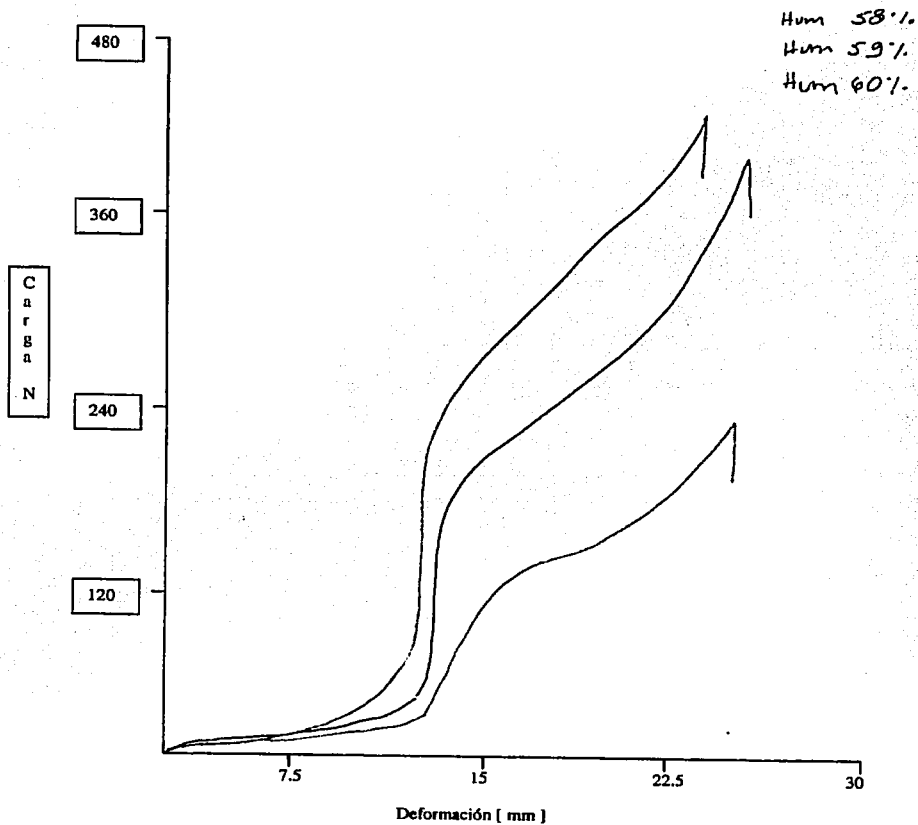
Prueba Extrusión Positiva

Fig. 22 Efecto de la humedad en la masa a 55, 56 y 57%



Prueba Extrusión Positiva

Fig. 22a Efecto de la humedad en la masa a 58, 59 y 60%



d) Prueba de **Extrusión Negativa** en la masa

En la tabla 21 y fig. 23 y 23a se observan los resultados de la masa y la influencia del contenido de humedad en las características de textura al someterla a la extrusión negativa.

Tabla 21. Resultados de la prueba de extrusión negativa en masa a humedad de 55, 56, 57, 58, 59 y 60%.

% humedad	Fuerza máx. Kgf	Resistencia a la compresión kgf/mm	Resistencia a la extrusión kgf/mm	Trabajo total* kgf*mm
55 x=	49.48	4.08	62.95	1119.56
sd=	0.22	0.79	2.33	179.25
%cv=	0.45	19.47	3.71	16.01
56 x=	46.52	3.72	62.85	919.33
sd=	0.76	0.73	2.82	91.02
%cv=	1.63	19.74	4.48	9.9
57 x=	40.24	3.5	47.12	886.05
sd=	1.73	0.59	4.37	95.25
%cv=	1.63	16.91	9.28	9.66
58 x=	37.46	2.99	42.22	841.05
sd=	0.45	0.08	3.27	122.99
%cv=	1.19	2.81	7.76	13.07
59 x=	32.68	2.39	36.92	666.27
sd=	0.82	0.36	2.9	84.51
%cv=	2.51	15.24	7.86	9.76
60 x=	24.01	2.13	29.17	619.78
sd=	2.36	0.17	1.28	27.07
%cv=	9.84	7.81	4.4	4.37

* Trabajo total = Trabajo de compresión más trabajo de extrusión.

La fuerza máxima, resistencias y trabajo total disminuyen al aumentar la humedad de la masa. De la misma forma que en la extrusión positiva, los cambios mas notables ocurren en la fuerza y la resistencia de extrusión de 59 a 60% de humedad, y en el trabajo total de 55 a 56% y de 59 a 60% con un cambio mínimo (1.00 veces) de 55 a 56

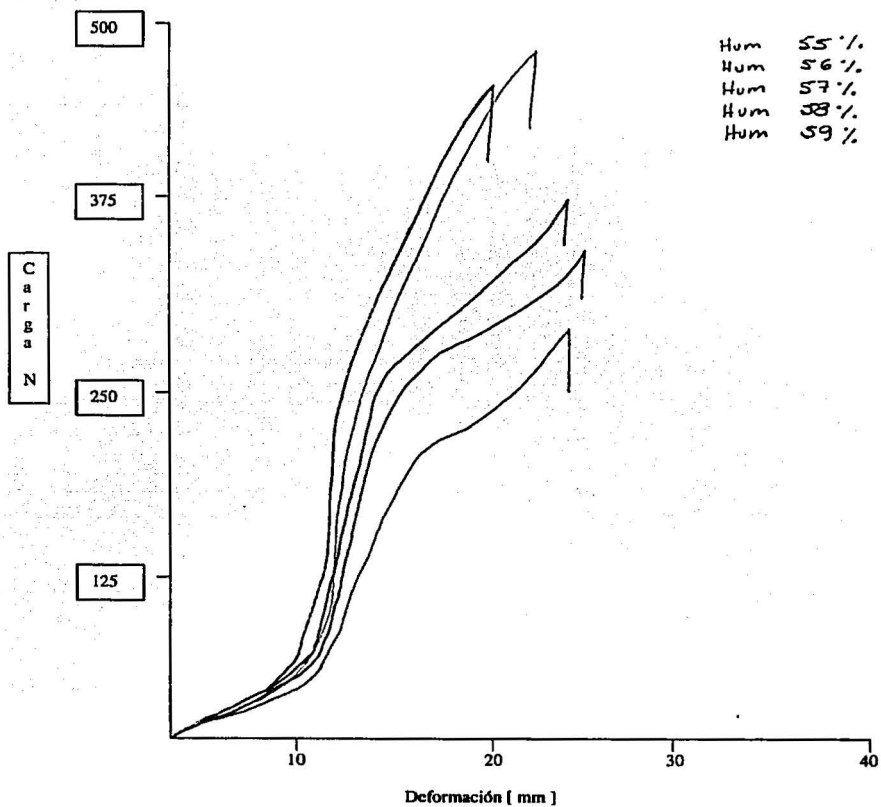
% de humedad. El trabajo total que se efectúa para comprimir y extruir la muestra, también disminuye al aumentar la humedad de la masa, con el cambio más importante de 55 a 56% (1.4 veces). De 59 a 60% también se registra una disminución importante (1.16 veces) de trabajo total.

Los cambios en los parámetros de extrusión parecen tener relación con los cambios en las propiedades de cohesión y adhesión de la masa, pues en ambas pruebas, los cambios más notables se presentan de 55 a 57% y de 59 a 60% de humedad, indicando que las masas con baja cohesión requieren de un mayor trabajo de extrusión.

Con respecto a la prueba de TPA, también los cambios mas importantes ocurrieron en la dureza y el módulo de 55 a 56% y de 59 a 60% de humedad. A mayor dureza de masa, mayor fuerza y trabajo de extrusión.

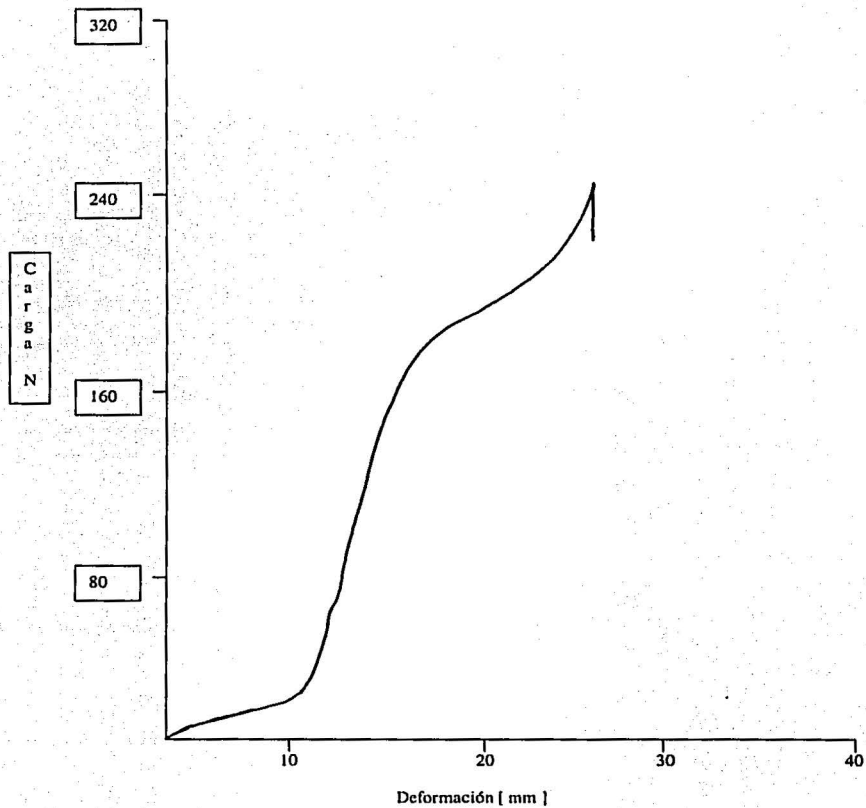
Prueba Extrusión Negativa

Fig. 23 Efecto de la humedad en la masa 55, 56, 57, 58 y 59%



Prueba Extrusión Negativa

Fig. 23a Efecto de la humedad de la masa a 60%.



e) Prueba de Penetración en la masa para determinar esfuerzo de cedencia. En esta prueba, se efectuó la penetración del cilindro de masa a diferentes velocidades, y una distancia constante y se obtuvo la fuerza a la máxima distancia. Esta fuerza se transformo a esfuerzo dividiendo entre el área de contacto del cono con la masa (tabla 22).

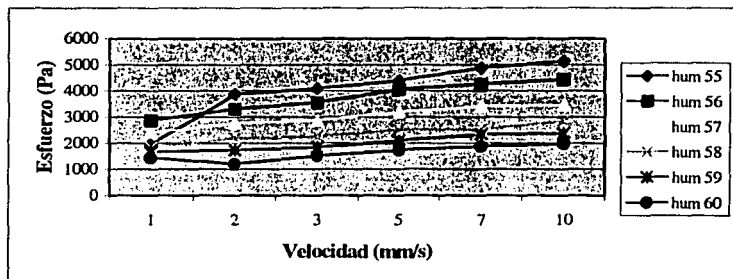
Tabla 22 Esfuerzo máximo de penetración en masa a diferentes velocidades.

Velocidad (mm/s)	Esfuerzo [Pa]					
	hum 55	hum 56	hum 57	hum 58	hum 59	hum 60
1	1941.4	2876.3	2385.8	1848.2	1667.7	1443.05
2	3874.4	3311.8	2758.6	2167.02	1729.5	1205.6
3	4093.7	3552.2	2868.4	2262.2	1837.4	1509.7
5	4391.9	4055.4	3181.4	2508.4	2088.5	1732.4
7	4878.5	4257.5	3400.1	2521.2	2337.7	1879.6
10	5132.6	4441.9	3460.9	2840.9	2376.9	1979.6
a	2753.90	2961.45	2474.65	1906.66	1569.18	1258.81
b	278.16	168.80	114.54	96.71	87.87	78.46
r	0.83	0.95	0.94	0.95	0.97	0.91

* Promedio de 3 determinaciones.

En la fig. 24 se muestra las curvas de esfuerzo en función de la velocidad de penetración a las diferentes humedades de masa. Puede notarse que al aumentar la humedad disminuye el esfuerzo de penetración y que éste muestra una tendencia lineal con la velocidad.

Fig. 24 Representación gráfica del esfuerzo máximo contra la velocidad de penetración de la masa a las diferentes humedades



En la tabla 22 se presentan la pendiente (b), ordenada al origen (a) y coeficiente de correlación (r) obtenidos al efectuar la regresión lineal del esfuerzo en función de la velocidad a diferentes humedades. Tanto la pendiente como la ordenada al origen disminuyen al aumentar el contenido de humedad. La ordenada al origen representa el esfuerzo de cedencia.

Los cambios más importantes ocurren de 59 a 60% de humedad. La pendiente, que está directamente relacionada con la viscosidad, presenta el cambio más importante de 55 a 56% y de 59 a 60% de humedad, que coincide con el cambio más importante en la dureza. El esfuerzo de cedencia presenta una tendencia similar que la fuerza máxima en las pruebas de extrusión, ya que a humedades bajas (55 a 56%) hay poco cambio y la disminución más importante se presenta de 59 a 60%.

El esfuerzo de cedencia, representa el esfuerzo mínimo bajo el que la masa fluye. Un valor alto de esfuerzo de cedencia puede explicar una mayor resistencia a la extrusión o

una mayor dificultad de manipulación de la masa durante el manejo para la elaboración de la tortilla u otros procesos extrusión.

Objetivo 2

Actividad 3. Elaboración de las tortillas a las humedades de (55, 56, 57, 58, 59 y 60%)

Características de las tortillas

Las tortillas con humedad de 55, 56, 57% se desmoronan con facilidad al moldearlas y al cocerlas forman costras en las orillas, pero presentan ampolla por los dos lados, son más gruesas y no se cuecen bien. Las tortillas de 58% se queman un poco menos, si se pueden moldear y no se desmoronan mucho. Las tortillas a humedad de 59 y 60% son más delgadas, toman mejor forma, no se resecan mucho a la hora de cocerlas, forman la ampolla más rápido, el cocimiento de la tortilla es más homogéneo.

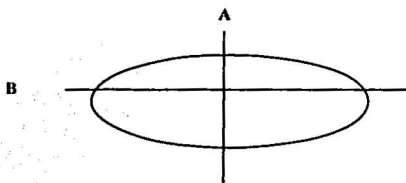
- Peso y dimensiones de la Tortilla comercial y Tortillas de 55 - 60%

El peso de la masa comercial cruda para hacer tortilla varió de 34 - 35g, las muestras se obtuvieron de una tortillería que utiliza sólo masa Minsa.

El peso de la masa para las tortillas a humedad 55-57% fue de 35- 37g, ya que tomando como referencia el de masa comercial no alcanzaba a moldear para formar la tortilla, se desmoronaba con facilidad y no cumplía con las dimensiones de la tortilla comercial ni para hacer las pruebas. El peso de la masa de las tortillas a humedad de 58 - 60% fue de 34 - 36g, ya que la masa era mas manejable.

Dimensiones de Tortilla (cocidas)

Las tortillas comerciales presentaron una forma ovalada, las tortillas a las diferentes humedades también eran ovaladas, pero menos que las comerciales. En la fig. 25 se presenta la forma de la tortilla y las dimensiones de los diámetros mayor (B) y menor (A).



A=[cm]

B=[cm]

Fig. 25 Representación de las dimensiones de la tortilla.

En el tabla 23 se presenta las dimensiones y el peso de las tortilla comercial y las elaboradas a las diferentes humedades se consideran solo 5 determinaciones por cada humedad y se obtiene el promedio.

El peso de la tortilla cocida, prácticamente no presenta cambio por efecto de la humedad de la masa, al igual que los diámetros mayor y menor de la tortilla. En cuanto al espesor, a 55 y 56% de humedad, las tortillas resultaron más gruesas pues la masa debido a la mayor dureza, presentó más resistencia a la compresión y se extendió menos al comprimir para formarla.

Tabla 23. Comparación de pesos y dimensiones de tortilla cocida.

Humedad [%]	Peso [g]	Dimensiones [cm]		Espesor [mm]
		A	B	
55	x= 26.92	12.1	12.0	0.33
	sd= 1.30	0.66	0.3	0.002
	%cv= 4.8	5.2	2.5	0.006
56	x= 26.77	12.1	12.5	0.33
	sd= 0.46	0.6	0.56	0.005
	%cv= 1.71	4.95	4.48	1.15
57	x= 26.42	12.5	12.6	0.26
	sd= 0.77	0.52	0.26	0.0012
	%cv= 2.91	4.16	2.06	0.46
58	x= 27.72	12.3	12.5	0.26
	sd= 0.97	0.32	0.23	0.0012
	%cv= 3.49	2.6	1.81	0.76
59	x= 26.43	12.1	12.2	0.26
	sd= 4.35	0.75	0.54	0.004
	%cv= 4.8	6.19	4.42	1.53
60	x= 26.41	12.0	12.3	0.26
	sd= 0.66	0.23	2.43	0.002
	%cv= 2.49	1.91	2.5	0.76

En cuanto a la forma de la tortilla se mantuvo uniforme, a las diferentes humedades.

Actividad 4. Determinar las propiedades texturales de la tortilla a diferentes humedades (55, 56, 57, 58, 59 y 60%).

a) Prueba de **extensibilidad de tortillas.**

En el tabla 24 se presentan los parámetros obtenidos en la prueba de extensibilidad y en la fig. 26 las curvas fuerza - tiempo para la misma prueba.

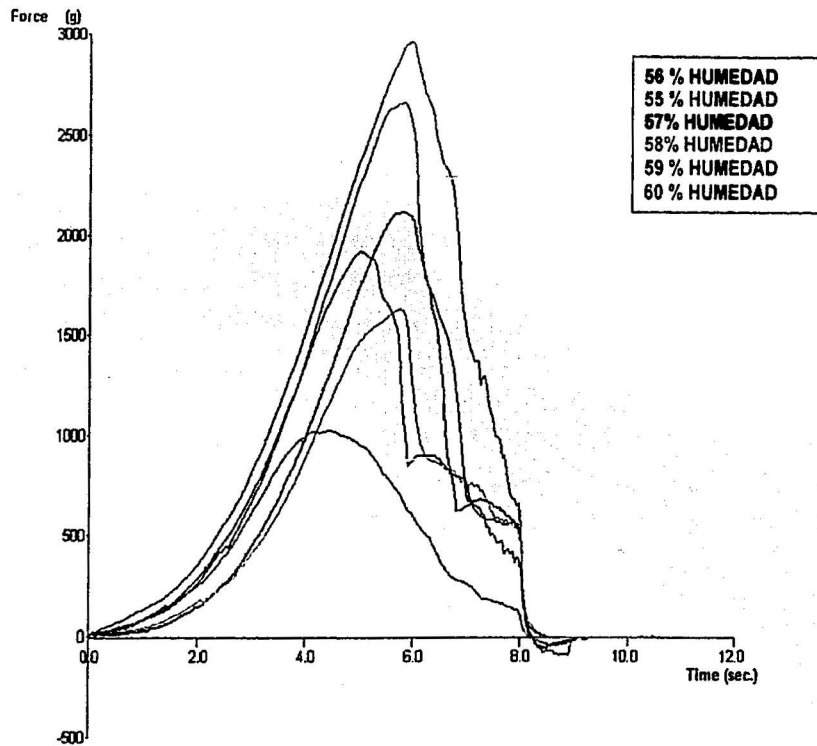
Tabla 24. Resultados de la prueba de Extensibilidad en tortilla a humedad de (55, 56, 57, 58, 59 y 60%).

% Humedad	Fuerza de ruptura g	Distancia la ruptura mm	Trabajo de extensión g mm	Resistencia a la extensión g/mm	Flexibilidad l/resistencia mm/g
55	2915.79	12.15	12824.65	1054.86	0.0025
x=					
sd=	72.24	0.26	494.55	5.94	
%cv=	2.48	2.15	3.85	1.51	
56	2639.45	11.84	10370.6	876.56	0.0024
x=					
sd=	921.42	107.06	0.28	6.21	
%cv=	8.88	4.05	2.46	1.52	
57	1980.74	11.52	7552.6	655.16	0.0034
x=					
sd=	201.74	0.48	1065.09	14.32	
%cv=	10.18	4.25	14.1	6.03	
58	1844.42	10.548	7029.54	666.81	0.0043
x=					
sd=	120.76	1.03	989.6	4.44	
%cv=	6.54	9.84	14.07	1.92	
59	1826.74	12.44	6947.77	558.46	0.0034
x=					
sd=	219.89	0.87	1404.45	34.49	
%cv=	12.03	7.03	20.21	11.96	
60	1167.28	9.03	3819.06	422.57	0.0039
x=					
sd=	94.78	0.71	561.14	561.14	
%cv=	8.49	7.88	14.69	14.69	

En las gráficas puede notarse un importante efecto del contenido de humedad en la altura de las curvas, el tiempo y distancia a la que ocurre la fuerza máxima. Al aumentar el % de humedad de la masa, disminuye la fuerza, el trabajo, la resistencia y la distancia a la ruptura (tabla 24). Es importante observar que a medida que se incrementa la humedad de la masa, los picos de fuerza se hacen más suaves siendo esto indicativo de una tortilla más flexible. La distancia a la cual la tortilla se rompe, disminuye al aumentar el % de humedad, pero esta ruptura ocurre con una menor fuerza, de manera que el parámetro flexibilidad se obtiene con el inverso de la resistencia a la ruptura, indicando la distancia que se extiende por cada gramo de fuerza aplicado, de manera que un mayor valor indica una tortilla más flexible.

Los cambios más importantes en los parámetros ocurren de 59 a 60% de humedad, lo que coincide con un aumento en la cohesividad de la masa, indicando que a mayor cohesividad de la masa, la tortilla es más flexible.

**Fig. 26. PRUEBA DE EXTENSIBILIDAD EN TORTILLA.
EFECTO DE LA HUMEDAD DE LA MASA**



b) Prueba de **punción** en tortillas.

En el tabla 25 se presenta los resultados de la prueba de punción en tortillas a diferente humedad. En la fig. 27 se presentan las curvas obtenidas en la prueba de punción.

Tabla 25. Resultados de la prueba de punción en tortilla a humedad de (55, 56, 57, 58, 59 y 60%).

% Humedad	Fuerza de punción g	Trabajo de punción g mm	distancia a la fuerza máxima mm
55	202.60	357.70	2.90
x=			
sd=	11.8	33.1	0.2
%cv=	5.8	9.25	6.87
56	224.2	424.5	3.64
x=			
sd=	13.2	37.7	0.2
%cv=	5.9	8.5	5.6
57	115.5	104.25	4.6
x=			
sd=	4.9	14.6	0.14
%cv=	4.2	7.5	5.4
58	171.8	293.2	1.8
x=			
sd=	8.3	25.8	0.14
%cv=	4.8	8.8	4.7
59	146.1	244.1	2.1
x=			
sd=	6.9	17.8	0.13
%cv=	4.7	7.3	4.5
60	101.6	171.5	2.1
x=			
sd=	6.9	17.6	0.2
%cv=	6.8	6.8	7.7

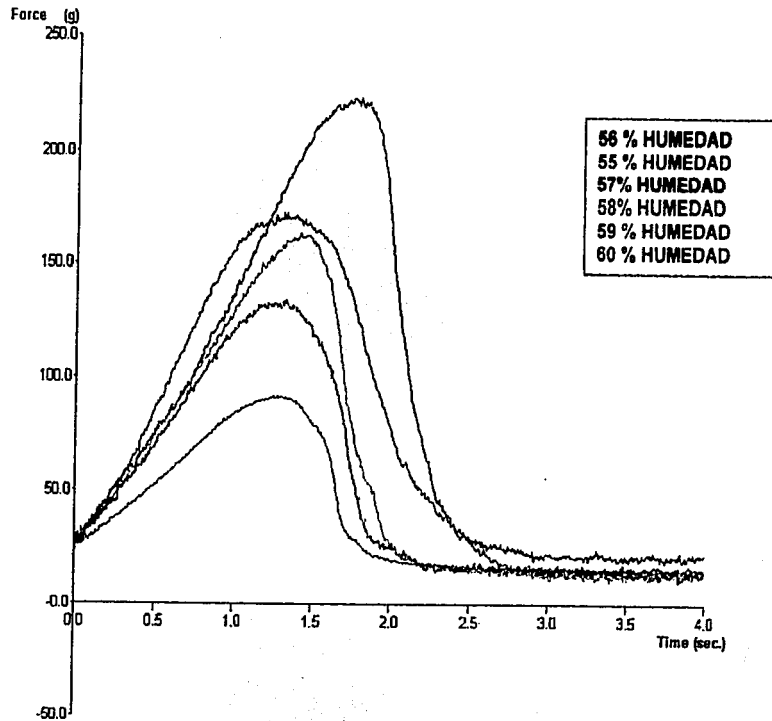
El comportamiento de la tortilla a la punción indica que a mayor humedad en la masa menor es la fuerza de punción. El trabajo de punción, que es el área de la curva hasta llegar a una fuerza máxima y el rompimiento de la muestra, sigue la misma tendencia que la fuerza máxima.

Notándose un cambio que coinciden con el trabajo de cohesión. Algo similar se presenta en relación con la dureza de la masa.

Puede observarse en la fig. 27 que el % de humedad tuvo un efecto importante en las pendientes de la subida de fuerza y los valores de la fuerza máxima (fuerza de ruptura). Todo lo anterior indica que al aumentar el % de humedad se obtienen una tortilla mas suave y con menor resistencia a la penetración.

La distancia a la que ocurre la ruptura no presentó cambios importantes a excepción de 55 a 56%, de tal forma que el trabajo efectuado para la punción está directamente relacionado con la fuerza de punción.

**FIG. 27. PRUEBA DE PUNCIÓN EN TORTILLA.
EFECTO DE LA HUMEDAD DE LA MASA**



c) Prueba de corte en tortillas.

En el tabla 26 se presentan los resultados de la prueba de corte de tortillas a diferente humedad. En la fig. 28 se observan las curvas obtenidas de esta prueba.

Tabla 26. Resultados de la prueba de Corte en tortilla a humedad de (55, 56, 57, 58, 59 y 60%).

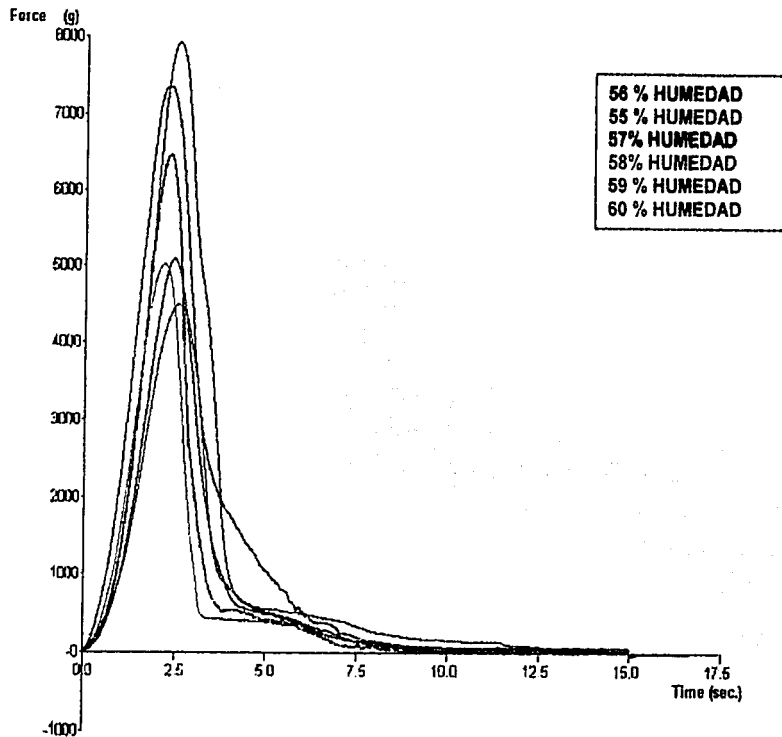
% Humedad	Fuerza de corte g	Extensibilidad (distancia al corte) mm	Trabajo de corte g mm	Resistencia al corte g/s
55 x=	6889.38	24.79	14398.49	2126.33
sd=	611.79	0.52	2404.42	195.82
%cv=	8.88	10.95	16.69	9.2
56 x=	8499.502	4.76	15465.09	2869.23
sd=	243.051	0.39	1114.254	80.45
%cv=	2.86	8.19	7.19	2.8
57 x=	6993.33	4.5	11771.6	2482.33
sd=	409.12	0.13	1049.22	106.6
%cv=	5.85	2.95	8.18	4.29
58 x=	3061.61	4.44	316	1857.91
sd=	150.21	0.27	274.67	97.05
%cv=	2.96	6.16	2.95	5.22
59 x=	8808.896	9.36	6233.77	2233
sd=	729.277	0.52	743.07	443.09
%cv=	12.55	11.92	7.22	20.11
60 x=	8777.99	8.02	6233.77	63
sd=	221.92	0.34	697.24	146.39
%cv=	4.62	6.84	7.23	8.94

El incremento en la fuerza máxima comparado con las pruebas de extensibilidad y corte se debe a que esta prueba se realizó con tres capas de tortilla (simulando el enrollamiento para la formación del taco).

En la fig. 28 se ve el efecto del % de humedad de la tortilla ya que las pendientes declinan conforme aumenta el % de humedad, afectando directamente a la fuerza aplicada al corte y teniendo una disminución en la resistencia de la tortilla, lo que se relaciona con una tortilla más flexible con mayor extensibilidad.

La distancia al corte presenta un comportamiento errático, con el mayor valor a 60% de humedad. Esto puede atribuirse a que la tortilla elaborada con masa de 60% de humedad es más flexible y se dobla antes de cortarse. En general, la fuerza de corte, el trabajo y la resistencia al corte disminuyen al aumentar el % de humedad de la masa, presentando una tendencia similar a las pruebas de extensibilidad y punción. Los cambios mas significativos en fuerza, trabajo y resistencia ocurren de 55 a 56% y de 59 a 60% de humedad de masa.

**FIG. 28. PRUEBA DE CORTE EN TORTILLA.
EFECTO DE LA HUMEDAD DE MASA**

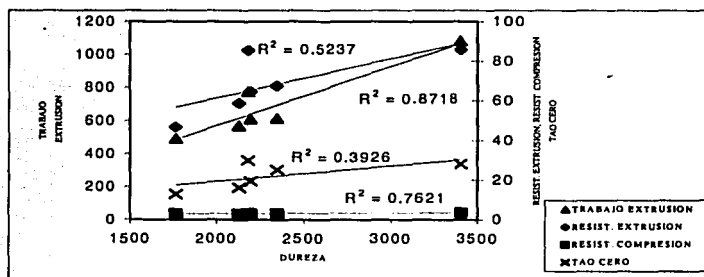


Objetivo 3

a) Correlaciones de propiedades texturales de masa

En este objetivo se verá la estrecha correlación que hay entre las propiedades texturales de masa y tortilla. En la fig. 29 se presenta la dureza de masa obtenida en TPA y su relación con el trabajo y la resistencia a la extrusión, la resistencia a la compresión de la prueba de extrusión positiva y el esfuerzo de cedencia obtenido en la prueba de penetración de masa.

Fig. 29 Correlación de la Dureza de masa en función a los parámetros de la prueba de extrusión positiva de masa.



Los puntos representan los datos experimentales y las líneas la tendencia obtenida por regresión lineal. Puede notarse que todos los parámetros presentan cierta correlación con la dureza; al aumentar ésta por efecto de una disminución en el contenido de humedad, aumentan los demás parámetros.

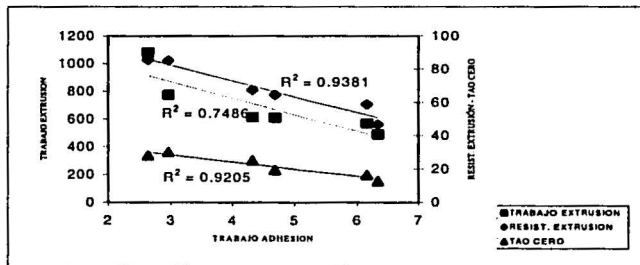
Como se puede observar en la fig. 29, al aumentar la dureza en la masa aumenta el trabajo de extrusión lo que conlleva a un mayor esfuerzo de cedencia y una mayor resistencia a la extrusión.

La correlación mayor fue para el trabajo de extrusión ($R^2 = 0.8718$); así mismo, la pendiente pronunciada indica una fuerte dependencia. Las correlación de las propiedades adhesivas de la masa; con otros parámetros se puede apreciar en las figs. 30 y 31. Obtenidos de la prueba de adhesividad en masa.

En la fig. 30 se presenta el trabajo de adhesión contra el trabajo de extrusión, se aprecia una relación inversa, conforme aumenta el trabajo de adhesión disminuyen el trabajo y resistencia de extrusión y el esfuerzo de cedencia.

Los datos presentan una tendencia lineal y a agruparse por pares; de 55 a 56% humedad con los menores valores del trabajo de adhesión; de 56 a 57% la diferencia es grande y los valores de 57 a 58% son cercanos. Lo mismo sucede de 59 a 60% de humedad tanto en el trabajo de extrusión, resistencia a la extrusión y tao cero.

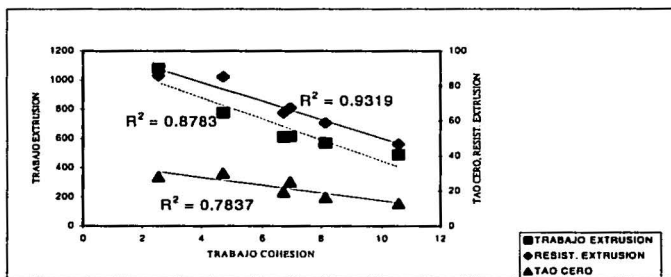
Fig. 30 Correlación de trabajo de adhesión de masa en función de los parámetros de la prueba de extrusión positiva de masa.



Los parámetros que mayor dependencia presentan con el trabajo de adhesión son resistencia a la extrusión ($R^2 = 0.9381$) y Tao cero ($R^2 = 0.9205$).

Al aumentar el trabajo de cohesión obtenido de la prueba de adhesividad de masa, disminuyen el trabajo de extrusión, el esfuerzo de cedencia y la resistencia a la extrusión.(Fig.31). Los 3 parámetros presentan una buena correlación lineal con el trabajo de cohesión. De la cohesividad de la masa depende la maleabilidad para la formación de la tortilla, a mayor humedad de la masa mayor cohesividad y menor trabajo y resistencia a la extrusión, dando una tortilla cruda más flexible y manipulable para la cocción.

Fig. 31 Correlación de trabajo de cohesión de masa en función de los parámetros de la prueba de extrusión positiva de masa

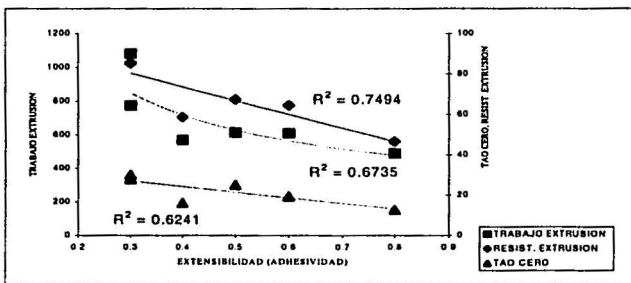


El comportamiento de los datos con el trabajo de cohesión es más homogéneo, cada parámetro disminuye conforme aumenta el trabajo de cohesión en la masa a diferencia de los datos de adhesión en donde los valores de la cohesión se agrupan por pares (55 - 56, 57 - 58, 59 - 60% de humedad) entre los cuales se presentan cambios drásticos en

las propiedades adhesivas. La correlación de las propiedades adhesivas de la masa con los parámetros de extrusión y tao cero es mejor al separarlas en cohesivas y adhesivas, ya que la relación adhesividad/cohesividad no presenta una dependencia clara con otros parámetros texturales.

En al Fig. 32, se observa la relación entre extensibilidad de la masa obtenida de la prueba de adhesividad contra parámetro de extrusión y tao cero; conforme aumenta la extensibilidad disminuye el trabajo de extrusión, la resistencia a la extrusión y el tao cero. Para el trabajo de extrusión se obtuvo una mejor correlación con la regresión del modelo de la potencia. La resistencia a la extrusión presentó una tendencia lineal y la mejor correlación de los tres parámetros.

Fig. 32 Correlación de extensibilidad de la prueba de adhesividad de masa en función de los parámetros de la prueba de extrusión positiva de masa.



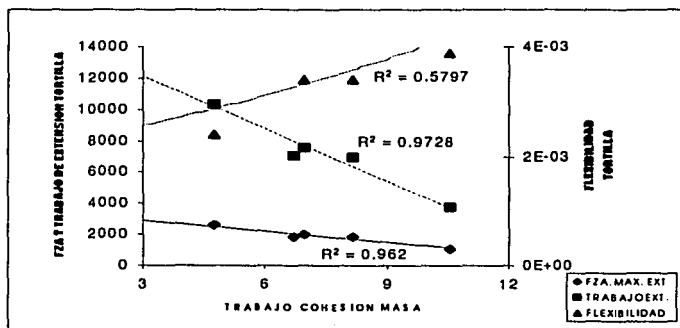
El aumento de la extensibilidad, ocurre al incrementar el % de humedad en la masa, que hace una masa más flexible y que opone menor resistencia para formar la tortilla. Mayor cohesividad a mayor humedad, fácil manejo de la masa y tortilla flexible.

Esto remarca que la prueba de TPA da una idea global de la textura y que se auxilia de otras pruebas específicas, como es el caso de la prueba de adhesividad, para la mejor descripción de las propiedades texturales del producto.

b) Correlaciones de propiedades texturales Masa - Tortilla

En la Fig. 33 se relacionan parámetros de masa (trabajo de cohesión) y parámetros de extensibilidad en tortilla; al aumentar el trabajo de cohesión de masa obtenida de la prueba de adhesividad, hay una disminución de la fuerza máxima y trabajo de extensión de la prueba de extensibilidad de la tortilla, y un aumento en la flexibilidad de la misma. Al aumentar la cohesión en la masa disminuye la fuerza aplicada para la formación de la tortilla, la cual tiene mayor flexibilidad y opone menor resistencia (menor dureza) a la extensión.

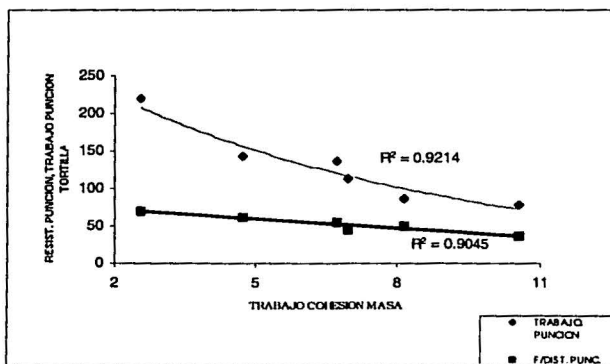
Fig. 33 Correlación de la extensibilidad y flexibilidad de la tortilla en función del trabajo de cohesión de masa.



La fuerza, el trabajo de extensión de la tortilla presentan una tendencia lineal con el trabajo de cohesión de la masa con una dependencia de ($R^2=0.96$ y 0.97) respectivamente.

En la Fig. 34 se correlaciona trabajo de cohesión de masa con resistencia y trabajo de punción, al aumentar el trabajo de cohesión en la masa de la prueba de adhesividad, disminuye la resistencia y el trabajo de punción de la tortilla, siendo más suave y fácil de penetrar.

Fig. 34 Correlación de la resistencia y trabajo de punción de la tortilla en función del trabajo de cohesión de masa.



El trabajo de punción y la resistencia, presentan una correlación inversa con el trabajo de cohesión de masa con una tendencia lineal para la resistencia y de la potencia para el trabajo de punción, ambos con una dependencia importante (Fig.34).

Se observa el mismo comportamiento de dispersión de los datos que en la fig. 33 siguiendo el acoplamiento de los datos en pares.

La elasticidad de la masa obtenida en la prueba de TPA no mostró una correlación, con otros parámetros de masa ni tortilla. La elasticidad es baja (0.2 - 0.24) y no presenta una tendencia clara de cambiar en función del contenido de humedad de la masa.

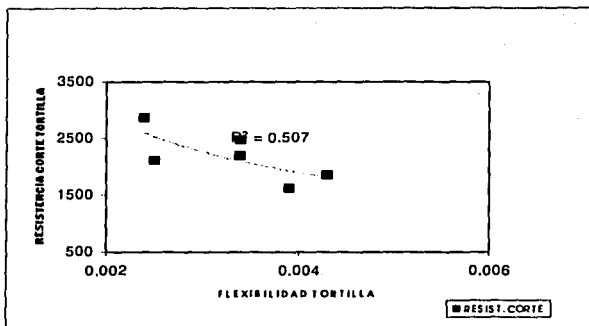
La correlación entre propiedades texturales de masa - tortilla tiene importancia debido, a que al tener mayor cohesividad la masa, ocasiona que la resistencia y el trabajo de extrusión para la formación de la tortilla sean menores y esta a su vez tenga mayor extensibilidad y sea más flexible.

c) Correlación entre propiedades texturales de la tortilla

Se observa que el % de humedad, afecta los parámetros de la masa en cuanto a propiedades adhesivas y que esto se refleja en las propiedades de la tortilla como producto final.

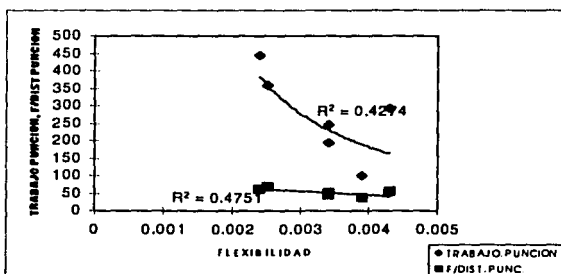
La Fig. 35 muestra la relación de la flexibilidad obtenida de la prueba de extensibilidad de tortilla con parámetros de la prueba de corte; al aumentar la flexibilidad, disminuye la resistencia al corte debido al aumento del % de humedad en la masa, la resistencia al corte presenta una tendencia de la potencia en función de la flexibilidad de la tortilla.

Fig. 35 Correlación de parámetros de la prueba de corte de tortilla en función a la flexibilidad de la tortilla.



En la fig. 36 se muestra la relación de flexibilidad de la tortilla con parámetros de la prueba de punción; a mayor flexibilidad disminuyen el trabajo y la relación fuerza /distancia de la prueba de punción.

Fig. 36 Correlación de parámetros de la prueba de punción de tortilla en función a la flexibilidad de la tortilla.



El trabajo y la relación fuerza/distancia de punción presenta una mínima dependencia de la flexibilidad de la tortilla.

Conclusiones

CONCLUSIONES.

- A humedades bajas en la masa de harina de maíz (55 a 58%) para la formación de la masa, no hay una hidratación homogénea, esto repercute en las características texturales de la masa y la tortilla. Esto se atribuye a que la intensidad y el grado de hinchamiento del almidón dependen fundamentalmente de la cantidad total de agua disponible, de tal forma que a medida que esta aumenta, el hinchamiento será mayor y por consiguiente hay más almidón que se desprende del gránulo para solubilizarse y darle cohesión a la masa.

- Al aumentar el contenido de humedad en la masa de harina de maíz, disminuye la dureza de la misma, siendo más cohesiva y manejable para la formación de la tortilla.

- La variación en el % de humedad en la masa influye en las propiedades texturales de la misma, la fuerza de extrusión aumenta conforme disminuye la humedad, teniendo que aplicar un trabajo mayor y oponiendo una resistencia mayor para extruir la masa. Esto tiene importancia práctica en el proceso de elaboración de la tortilla, donde la masa es sometida a una operación similar a la extrusión. Entre otras aplicaciones de la harina de maíz nixtamalizado, está la elaboración de botanas fritas elaboradas por extrusión; en este proceso, las propiedades de extrusión de la masa son fundamentales y están influenciadas de manera importante por el % de humedad de la misma.

- Al aumentar el % de humedad, el esfuerzo de cedencia disminuye, lo que implica una menor resistencia de la masa a iniciar el flujo o ser penetrada.
- Los cambios en las propiedades adhesivas de la masa, por efecto del contenido de humedad, no son detectados en forma sensible por la prueba de TPA, por lo que se recurrió a una prueba más específica en la que se separaron las propiedades adhesivas y cohesivas de la masa.
- La cohesión y adhesión aumentan al aumentar el % de humedad. El aumento de la cohesión es gradual al aumentar el % de humedad mientras que la adhesión presenta aumentos más bruscos, de 56 a 57% y de 58 a 59% de humedad.
- El índice de elasticidad de masa evaluado por el TPA es bajo y presenta poco cambio por el efecto de la humedad (0.22 - 0.24) por lo que no afecta de manera importante las propiedades de extrusión de la masa, ni propiedades de tortilla como flexibilidad, resistencia al corte y a la punción.
- La prueba de TPA en masa de maíz nixtamalizado solo da una idea global del comportamiento de las propiedades texturales. El objetivo de esta prueba es ver la simulación del masticado y como este producto es intermedio para la formación de la tortilla y no se consume como tal, se propone para posteriores estudios analizar el TPA de tortilla.

- La tortilla como producto final ve sus propiedades texturales afectadas por el % de humedad de la masa, al aumentar el % de humedad aumenta la cohesividad de la masa, dando una tortilla más flexible, obteniéndose un producto más suave y manejable con facilidad al corte.
- Para la adecuada formación de la tortilla, debe predominar la cohesión de la masa sobre la adhesión pues si sucede lo contrario (55% de humedad en la masa) tiende a no hidratarse completamente y a desmoronarse al manejarla. Teniendo un aumento en la humedad ocurre un aumento gradual en la cohesividad de la masa, aumentando la extensibilidad a un valor adecuado para el manejo de la misma durante la formación de la tortilla.
- Las propiedades de extrusión muestran una clara correlación con el trabajo (W) de cohesión y adhesión, obteniéndose una masa con mayor facilidad para extruir al aumentar la cohesión y adhesión, con aumento del % de humedad.
- Existe una estrecha correlación de propiedades de masa y tortilla, que se ven influenciadas por el % de humedad, al variar la humedad de la masa, sus propiedades texturales se verán afectadas repercutiendo esto en el manejo de la misma para la elaboración de la tortilla y en las propiedades de ésta.
- Las pruebas instrumentales globales y específicas son una buena alternativa para la descripción del comportamiento del alimento al ser masticado o simulando otras operaciones efectuadas sobre éste (extrusión, corte, doblado etc.).

- Pudo notarse que las propiedades de cohesión y adhesión de la masa son fundamentales en la textura de masa y tortilla, que presentan una buena correlación con otras propiedades de masa (extrusión, dureza, esfuerzo de cedencia) y de tortilla y que son notoriamente influenciados por el contenido de humedad de la masa. Estos cambios en adhesión y cohesión están influenciados por el grado de hidratación de la matriz de almidón contenido en los endospermos harinoso y corneo.

- Para tener una clara evidencia de como ocurre esta hidratación se recomienda complementar este tipo de estudios con técnicas que permitan una visualización de la estructura de masa y tortilla como puede ser la microscopía electrónica.

BIBLIOGRAFIA

1. Torres, F., E. M., Martínez I., Chong y Quintanilla, J. 1996. **La Industria de la masa y la Tortilla. Desarrollo y Tecnología.** Programa Universitario de Alimentos/ PUEC/ PUIS/ PUMA. UNAM.
2. Bresanni, R. R., Paz y S., Scrim. 1958. **Chemical changes in corn during preparation on tortillas.** Journal Agricultural and Food Chemistry. Vol 6 (10): 770 – 773.
3. Parsons, B. D. 1983. **Manuales para la Educación Agropecuaria “ Maíz”.** Segunda Edición, editorial Trillas. México D.F.
4. Alvarez, C. 1984. **Dos estudios Paleobotánicos en la cuenca de México.** Cuaderno de Trabajo 20. INAH, Departamento de Prehistoria, México.
5. **El Maíz.** 1987. Museo Nacional de Culturas Populares. SEP - Dirección General de Culturas Populares. México 114 p.
6. Wolf, M. J., C. L., Buzan, M. M., MacMaster y C.E., Rist. 1952. **Structure of the mature corn kernel. III. Microscopic structure of the endosperm of dent corn.** Cereal Chemistry. Vol. 29(5): 349 – 361.
7. Watson, S. A. y P.E., Ramstad. 1991. **Corn: Chemistry and Technolgy.** American Assiattion of Cereal Chemistry. INC. I cra. Ed. Paul Mincessota. USA.
8. Matz, A. S. 1991. **“The chemistry and technology of cereals as food and feed”.** An Arl Book 2a. ed. New York. USA.
9. Echeverría, M. E. 1982. **Recetario mexicano del maíz.** SEP. Museo de Culturas Populares. México, 914p.

10. **El sector alimentario en México.** 1996. Publicación Anual. INEGI Iera. edición, 352p.
11. Moreno M., M. H. Gómez y R. D., Wansika. 1988. **The influence of hermetic storage on the behavior of maize seed germination.** Science and Technology 13: 285 – 290.
12. Gravioto, R. O. y Anderson, R. K. 1945. Nutritive value of the mexican tortilla. Science and Technology (102): 91.
13. Merino, .M. E. 1973. **Estudio comparativo de las propiedades físicas y químicas en la nixtamalización de tres tipos de maíz.** Tesis profesional. ENCB. IPN. México
14. Gómez, R. 1970. **Enriquecimiento de los cereales y sus productos con concentrados proteicos en América Latina.** INCPA. Editores Beha. Guatemala
15. Munguía, C. 1983. **Cambios ocurridos en los nutrimentos del maíz por el proceso de nixtamalización .**Tesis Profesional. ENCB. IPN. México.
- 15a. Del Valle, F. R., Pérez V. J. y Saleme M. M. 1974. **Enriquecimiento de las tortillas con proteínas de soya por medio de la nixtamalización de mezclas de maíz y soya.** Tecnología de Alimentos. Enero - febrero. 24:27
- 15b. Ramírez, B., Sweat V. E. 1993. **Developmet of two instrumental methods for corn masa texture evaluation.** Cereal Chemistry, Vol 70 (3) 130-133
- 15c. Martínez B., J. Figueroa, S. Sanchez, F., Gonzalez. 1996. **Extrusión apparatus for the preparation of instant fresh corn dough or masa.** Patent USA., number 5,558,886
16. Morad, M. M., F. V., Iskander, L. W., Rooney and C. E., Carp. 1986. **Physico – chemical properties of alkali – cooked corn using traditional and prescaking procedures.** Cereal Chemistry, Vol 63 (3): 255 – 259.

17. Rubfín, A. C. 1990. **Estudio comparativo de la textura del maíz y sus productos durante el proceso de elaboración de la tortilla en la pequeña industria.** Tesis Profesional. Universidad La Salle. México.
18. Moreira, G. y M. H. Gómez. 1994. **Moisture diffusion and dry matter loss of corn during alkaline – steeping.** Revista Española de Ciencia y Tecnología Alimentaria. Vol 34 (1-3).
19. **Industrias manufactureras productos y materias primas. Subsector 31., Bebidas Productos alimenticios y tabaco.** 1994. Censo Económicos 1994, INEGI. México. Publicidad Quincenal. 1era. Ed. 128 p.
20. Novelo, V. y A. García 1987. **La tortilla: Alimento, trabajo y tecnología.** UNAM. Complemento del seminario de problemas científicos y filosóficos. México. 65 p
21. Pflugelder, P. L. 1988. **Perdida de materias primas secas en la producción de masa de maíz comercial.** American Association of Cereal Chemists. Inc. Vol 65 (2).
22. **Plan de desarrollo y modernización de la industria molinera de nixtamal y tortillerías.** 1991. Asociación de propietarios de molinos para nixtamal y tortillerías del DF y zona metropolitana del Edo. de México, México, 23 p.
23. Norma oficial mexicana. **NMX- F -046 - 1980.** Secretarías de Comercio. México
24. Gómez, M. H. y L. W. Rooney 1987. **Dry corn masa flours for tortilla and snacks food products.** Cereal Foods World. Mayo Vol 32 (5) : 372 – 376 p.
25. Torres, G. 1992. **Las políticas alimentarias y los programas de abasto de tortillas.** Ponencia presentada en el seminario La producción de bienes y servicios básicos en México. UNAM – CICH. México.
26. **El sector alimentario en México.** 1996. Publicación Anual. 1era. edición, 352p.

27. Anzardfa, F. A. 1988. **La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica.** Editorial Omega.
28. Bourne, M. C. 1986. **Texture profile of ripening pears.** J. Food. Science. 33. 223 – 226.
29. Almeida H. and R. Lloyd. 1997. **Techniques for measuring the texture of alkaline cooked corn products: nixtamal, masa, tortilla, tortilla chips and taco shells with a SMSTA.XT2 : Texture Analyzer.** Cereal Quality Laboratory soli & Crops Sciences Department A& M University . College Station.
30. Lewis, M.J. 1993. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado.** ed. Acribia. S.A. Zaragoza, España 135 - 167 p.
31. Anzaldúa M. A. 1984. **Importancia de la evaluación sensorial en la industria alimentaria.** Curso impartido a profesores del departamento de graduados. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México D.F.
32. Anzaldúa M. A. 1984a. **Reología y textura en la industria de la confitería.** Curso impartido al personal de la compañía Chicles Adams S.A. México D.F.
33. Fellows, P. 1994. **Tecnología del procesado de los alimentos principios y prácticas.** ed. Acribia S.A. Zaragoza España.
34. Larmond, E. 1976. **Sensory measurements of food texture en Rheology and texture in food quality.** Editado por J.M. de Man.
35. Ulloa, S. M. y H. W. Schoroeder. 1969. **Aflotoxina the composition in the process of making tortillas from corn.** Cereal Chemistry Vol.46 (7): 397 – 400.
36. Chefel, J. C. 1983. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos.** Ed. Acribia Zaragoza, España Vol. 11.

130

37. Deman, J. M., Ph. D. y P.W. Voissey. 1979. **Rheology and texture in food quality.** The AVI Publishing Company, Inc. 2a. ed.
38. Civille, G.,V. y A.,S. Szczesniak. 1973. **Guidelines to training a texture profile panel.** J. Texture Studies Vol. 4, 204 p.
39. Proctor, B., C. D. Bazúa y P., Sherman. 1955. **Cording – strain – gagedenture tenderometer for foods. II studies on the masticatory force penetration relationship.** Food Tecnology Vol. 10 325- 331p.
40. Szczesniak, A. S. 1963. **Objetive Measurements of food Texture.** Journal of food. Science Vol.28 (4), 4 – 10, 420.
41. Casas, A. N. y M. E. Ramírez. 1998. **Evaluación de la textura de materiales con maquina universal de deformación.** Curso de superación académico. Agosto. FES-C. Depto. de investigación y tecnología sección LEM alimentos.